ISSN 1609-1825 (Print)
ISSN 2710-3382 (Online)

УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ

ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА

№1
2026

- Машиностроение. Металлургия
- Геотехнологии. Безопасность жизнедеятельности
- Строительство. Транспорт
- Педагогика высшей школы. Экономика
- Энергетика. Автоматика. ИКТ

республикалық журналы

республиканский журнал

УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ

ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА

1 (102) 2026

2000 жылдан бастап шығарылады
Мерзімділігі жылына 4 рет

Издается с 2000 года
Периодичность 4 раза в год

Журнал Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің жанындағы Ақпарат комитетінде тіркелген (қайта есепке алу куәлігі № KZ63VPY00044097 15.12.2021 ж.)

Журнал зарегистрирован в Комитете информации при Министерстве информации и общественного развития Республики Казахстан (свидетельство о перерегистрации № KZ63VPY00044097 от 15.12.2021 г.)

МЕНШІК ИЕСІ
«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қаласы)

СОБСТВЕННИК
Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда)

Главный редактор
Ю.Н. Пак
академик НАН ВШК, КазНАЕН, д-р техн. наук, профессор

Редакционный совет

Сагинтаева С.С. *ректор НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик НАН ВШК, д-р экон. наук, канд. физ.-мат. наук, проф. (председатель) (Казахстан)*

Куликов В.Ю. *проф. кафедры металлургии и новых материалов НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик МАИН, канд. техн. наук (зам. главного редактора) (Казахстан)*

Сагадиева К.К. *руководитель редакционно-издательского центра НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (и.о. ответственного секретаря) (Казахстан)*

Ахметов Б.С. *проф. кафедры информатики и информатизации образования Казахского национального педагогического университета имени Абая, академик НИА, МАИН, д-р техн. наук (Казахстан)*

Бирюков В.В. *проф. кафедры экономики и менеджмента предприятия НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», д-р экон. наук (Казахстан)*

Варгула Л. *PhD, ассоциированный проф. Познанского технологического университета (Польша)*

Выжва С.А. *директор института геологии Киевского национального университета имени Т. Шевченко, д-р геол.-мин. наук, проф. (Украина)*

Демин В.Ф. *проф. кафедры разработки месторождений полезных ископаемых НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», д-р техн. наук (Казахстан)*

Жанбаев Р.А. *эксперт по устойчивому развитию городов и внедрению цифровых и зеленых технологий, канд. экон. наук, РОО «Национальная инженерная академия РК» (Казахстан)*

Жетесова Г.С. *проф. кафедры технологического оборудования, машиностроения и стандартизации НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик КазНАЕН, д-р техн. наук, проф. (Казахстан)*

Жетписбаева Б.А. *проректор по стратегическому развитию НАО «Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова», д-р пед. наук, проф. (Казахстан)*

Ибатов М.К. *советник ректора НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик КазНАЕН, НИА РК, иностранный член Академии горных наук РФ, д-р техн. наук, проф. (Казахстан)*

Ибраев М.К. *декан химического факультета НАО «Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова», д-р хим. наук (Казахстан)*

Исагулов А.З. *руководитель аппарата НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик МАИН, КазНАЕН, НАН ВШК, д-р техн. наук, проф. (Казахстан)*

Кадыров А.С. *проф. кафедры транспортной техники и логистических систем НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», д-р техн. наук (Казахстан)*

Каталинич Б. *проф. Венского университета технологий, д-р техн. наук, President IAE-CEB, Professor, Dr.sc., Dr.mult.h.c., Prof.h.c., President of DAAAM International (Австрия)*

Коликов К.С. *зав. кафедрой горнопромышленной экологии Национального исследовательского технологического университета МИСиС, д-р техн. наук (Россия)*

Кошебаева Г.К. *проф. кафедры экономики и менеджмента предприятия НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», д-р экон. наук (Казахстан)*

Кропачев П.А. *доцент кафедры строительных материалов и технологий НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», канд. техн. наук, ассоц. проф. (Казахстан)*

Мехтиев А.Д. *проректор по науке и инновациям НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», канд. техн. наук, ассоц. проф. (Казахстан)*

Нугужинов Ж.С. *директор КазМИРР, советник Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), д-р техн. наук, проф. (Казахстан)*

Окишев К.Ю. *проф. кафедры термообработки и физики металлов ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», д-р физ.-мат. наук (Россия)*

Портнов В.С. *проф. кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик МАИН, иностранный член Академии горных наук РФ, д-р техн. наук (Казахстан)*

Сахапов Р.Л. *зав. кафедрой дорожно-строительных машин Казанского государственного архитектурно-строительного университета, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Тошов Ж.Б. *проф. Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова, д-р техн. наук (Узбекистан)*

Шеров К.Т. *проф. кафедры технологических машин и оборудования НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», д-р техн. наук (Казахстан)*

Раздел 1

Машиностроение. Металлургия

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_3 ӘОЖ 621.83.053.3

Қайта қалпына келтірілген ірі модульды дөңгелек тісінің профилін қадағалау

***БУЗАУОВА Тоты Мейрбековна,** т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, t.buzauova@ktu.edu.kz,
СМАИЛОВА Бағлан Кабдуллаевна, докторант, аға оқытушы, baglansmailova@mail.ru,
САРБАЕВ Далельхан Ардакович, магистрант, dalelhan20002@gmail.com,
МАТЕШОВ Арман Кариевич, аға оқытушы, a.mateshov@ktu.edu.kz,
БЕЙБІТ Шұғыла Ғалымжанқызы, магистрант, beibutovva@mail.ru,
«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Ашық тісті берілістердің тетіктері абразивті тозудың нәтижесінде істен шығады. Тістері сынған, пластикалық деформацияланған дөңгелектерді электрлі қожды балқыту арқылы қайта қалпына келтіреді. Мақалада электрлі қожбен балқытылған ірі модульды тісті дөңгелектің эвольвенталы тістерінің профилін бақылауға арналған үлгі қарастырылады. Жұмыста эвольвенталы профильдің геометриялық параметрлерін анықтау үшін тісті дөңгелектің бастапқы номиналды өлшемдері және сақтылған тістердің нақты параметрлері негізге алынды. Үлгінің өлшемдері мен шақтамалар есептеліп, жұмысшы сызбалар жасалды. Мақалада үлгінің жұмыс принципі мен базалау тәсілі көрсетілген. Үлгінің құрылымдық қарапайымдылығы оны жөндеу жағдайларында қолдануға қолайлы етеді. Әзірленген үлгі нақты тісті дөңгелекке арналып жасалады және эвольвенталы профильдің қайта қалпына келтірілген бөлігін жедел қадағалауға арналған құрал болып табылады. Бұл тәсіл жөндеу өндірісінің ерекшеліктерін ескере отырып, бақылау әдістерінің тиімділігі, қарапайымдылығы және үнемділігі тұрғысынан басымдыққа ие.*

Кілт сөздер: *үлгі, эвольвенталы профиль, қайта қалпына келтіру, ірі модульды тісті дөңгелектер, шақтама.*

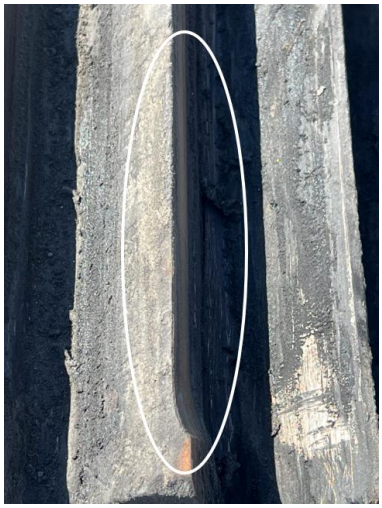
Кіріспе. Эвольвенталы тісті дөңгелектер ілінісудің негізгі геометриялық заңдылықтарын қанағаттандырады, тұрақты беріліс қатынасын қамтамасыз етеді және тісті берілістердің осьаралық қашықтығының берілген ауытқуын мүмкін етеді, бұл өз кезегінде құрастыру үдерісін жеңілдетеді. Осындай артықшылықтарына байланысты эвольвенталы профильді тісті дөңгелектер техникада кеңінен қолданыс тапқан [1].

Тісті дөңгелектердің тістерінде пайдалануға байланысты түрлі ақаулар пайда болуы мүмкін: жұмыс бетінің пластикалық деформациясы (1, а-сурет), тістің бір жақты тозуы (1, б-сурет), сондай-ақ жекелеген тістердің сынуы (1, в-сурет). Көп жағдайда тісті дөңгелектің қалған тістері геометриялық тұрғыдан шақтама шектерінде сақталады, бұл оларды жөндеу кезінде эталон ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Ақауы бар тісті дөңгелектерді пайдалану қауіпті, себебі олар іліністегі қарсы тісті дөңгелекті де зақымдауы, тіпті механизмнің толық істен шығуына алып келуі мүмкін.

Ашық және баяу айналатын тісті берілістерде тістерді қайта қалпына келтіру экономикалық тұрғыдан тиімді шешім болып саналады. Мұндай ірі модульды тістерді қалпына келтіру әдістеріне қолмен балқыту [2], доғалы автоматты балқыту [3], плазмалық балқыту [4] және электрлі қожбен балқыту [5] жатады.

Қалпына келтірілген тістердің ілінісуі тиімді болу үшін олардың эвольвенталы профилінің дәлдігін бақылау аса маңызды. Эвольвентадан ауытқу берілістің сапасына, оның жұмыс сенімділігіне, соққылы жүктемелердің пайда болуына әсер етеді. Қазіргі уақытта тістің профилін бақылауға арналған түрлі әдістер мен аспаптар бар [6], алайда

а) эвольвенталы профильдің пластикалық деформациялануы



б) жұмысшы бетінің бір жақты тозуы

в) тістердің тозуы: сыну ұзақтығы 345мм

1-сурет – Ірі модульды дөңгелек тістерінің істен шығуы

олардың күрделілігі, баптауға қойылатын талаптардың жоғары болуы, және қосалқы бөлшектердің дәлдігінің өлшеу нәтижесіне тікелей әсері олардың қолданылуын шектейді. Сонымен қатар, бұл әдістер көбінесе жаңа тісті дөңгелектерді бақылауға арналған.

Осыған байланысты жөндеу жағдайында қолдануға ыңғайлы, құрылымы қарапайым және дәлдігі жоғары бақылау құралдарын әзірлеу өзекті ғылыми-техникалық мәселе болып табылады.

Зерттеу мақсаты – электрлі қожбен балқытылған ірі модульды тістердің эвольвенталы профилін бақылауға арналған үлгіні әзірлеу және өлшеу операцияларының өнімділігін, сенімділігін арттыру.

Зерттеу әдістемесі. Зерттеу барысында қайта қалпына келтірілген тістердің эвольвенталы профилін дәл қадағалау үшін арнайы профильді үлгі әзірленді. Үлгінің геометриялық параметрлері шақтама шектерін ескере отырып есептелді. Жобалау кезінде шарлы барабанды диірменнің тісті дөңгелегінің номиналды өлшемдері негізге алынды. Өлшеу дәлдігін арттыру үшін үлгінің және бақылайтын үлгінің нақты орындалу өлшемдері мен шақтамалары есептелді. Профильді және бақылайтын үлгілердің жұмысшы сызбалары Компас қолдаңбалы бағдарламасында әзірленіп, 3D модельдеу және сынақтық бақылау жүргізілді.

Негізгі бөлім. Тіс эвольвентасының параметрлі пішіндері (полярлы немесе төртбұрышты координатада) мына өрнекпен анықталады:

$$x = r_b(\cos\theta + \theta\sin\theta),$$

$$y = r_b(\sin\theta - \theta\cos\theta),$$

мұндағы θ – эвольвента пішінің сәйкесінше бұрышының радианы, θ = 0-0,6,

r_b – негізгі шеңбердің радиусы, ол келесі формуламен анықталады:

$$r_b = \frac{mz}{2}\cos\alpha.$$

Эвольвента пішіні анықталған соң (1-кесте) шаблонның профилді нүктелеріндегі шақтамаларын, орындалу өлшемдерін анықтаймыз.

Профильдік үлгілерге тексеру құралдарының басқа түрлерінің жеке қарапайым профильдері кіреді (қапсырмалар, бұрыштық үлгі, радиустық үлгі және т.б.). Сондықтан, профильдік үлгілер үшін шақтама мен шекті ауытқулар үлгі профилінің әр бөлімі үшін бөлек анықталады. Үлгінің номиналды өлшемдерін тісті дөңгелектің «денесіне», яғни ең жоғарғы шекті өлшемі бойынша

1-кесте – Эвольвентал тістің параметрлі координатадағы өлшемдері

№	θ	X, мм	y, мм
1	0	272,52	0
2	0,08	274,49	21,70
3	0,16	279,39	43,16
4	0,24	287,13	64,16
5	0,32	297,56	84,46
6	0,4	310,48	103,83
7	0,48	325,70	122,09
8	0,56	342,97	139,08
9	0,64	362,06	154,65
10	0,72	382,69	168,70

анықтайды. Үлгінің және бақылайтын үлгіні әзірлеу кезіндегі дәлсіздігін бұйымның шақтамасына байланысты таңдаймыз [7]. Бұл жағдайда үлгінің шақтамасы профильдің ең жоғарғы өлшемінен үлгінің денесіне, ал бақылайтын үлгі үшін үлгінің номиналды профиліне симметриялы орналасады (2-кесте).

Талқылау. Анықталған өлшемдерді пайдаланып Компас қолдаңбалы бағдарламасында эвольвенталы тістің пішінімен шаблонның жұмысшы сызбасын тұрғызамыз (2-сурет).

Профильдік үлгі балқытылған тісті бақылау кезінде тісті дөңгелекке тістің ойықтары арқылы базаланады. Үлгі (1) қайта қалпына келтірілген тістердің (2) үстінен орнатылып, тісті дөңгелек корпусына (3) сәйкестендіріледі (3-сурет). Үлгіге көп күш түсірместен, тістің барлық ұзындығы бойынша (L бойымен) жылжыту арқылы эвольвенталы профильге сәйкестігі бағаланады. Бұл ретте көршілес тістер базалық бет ретінде қызмет етеді (3-сурет).

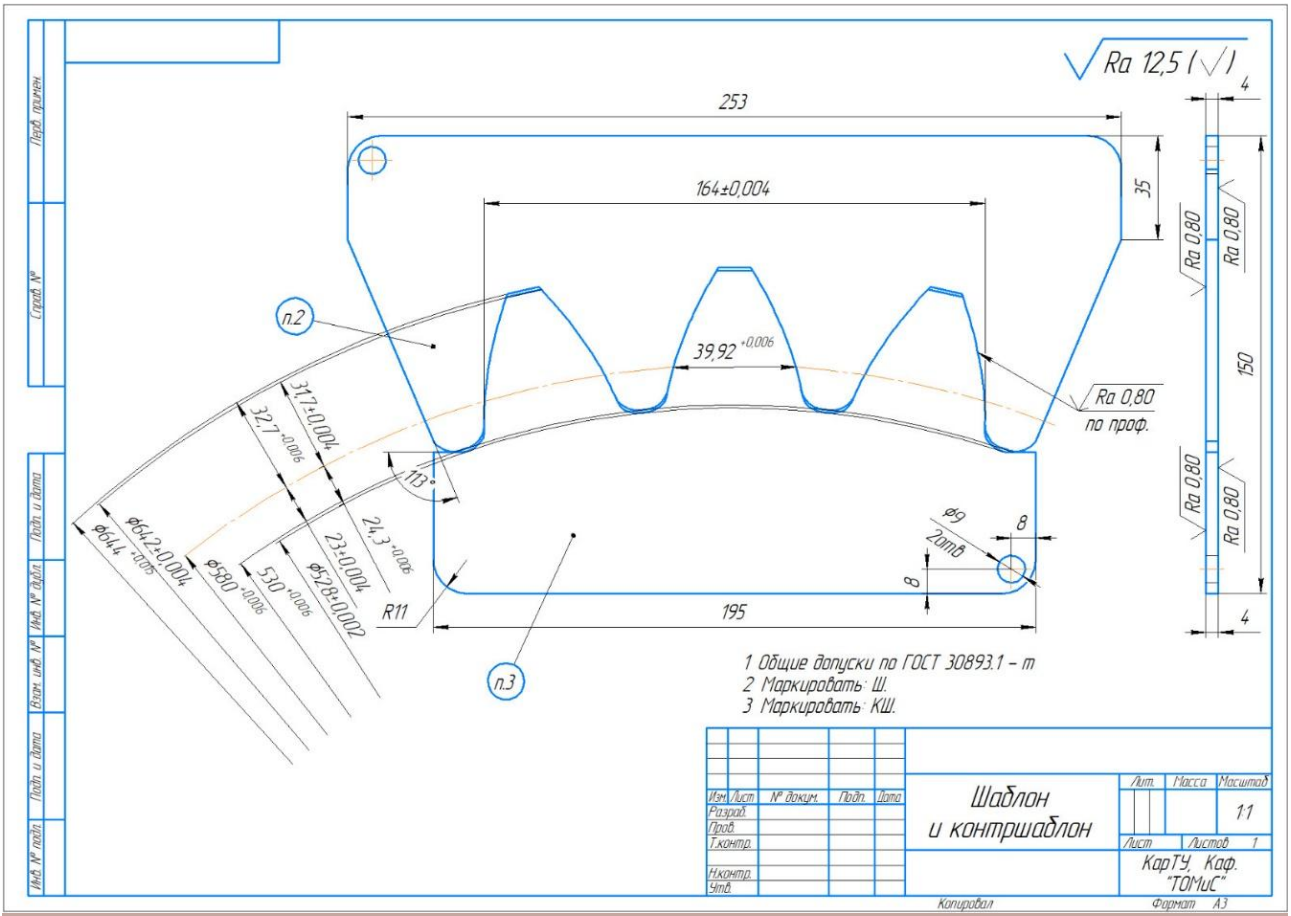
Жұмысшы сызба бойынша (2-сурет) әзірленген үлгіні пайдаланып электрлі қожбен балқытылған тісті қадағалаймыз (4-сурет). Ол үшін балқытылған тісті негізінен (ойпат диаметрінен df) шартты 10 бөлікке бөлеміз. Үлгімен қайта қалпына келтірілген тістің арасындағы саңылау немесе кериліс шамаларын өлшегін көмегімен қадағалаймыз (3-кесте). Саңылау шамалары берілген шақтамадан аспауы тиіс (2-кесте) және балқытылған тіс эвольвентасының жарамдылығы жайлы қорытынды жасаймыз.

Қорытынды

1. Жөндеу жағдайында қалпына келтірілген ірі модульды тістердің эвольвенталы профилін бақылауға арналған үлгінің негізгі

2-кесте – Үлгінің шақтамасы және орындалатын өлшемдері

Атауы, белгіленуі	Тіс профилінің номиналды өлшемдері, мм	Үлгі		Бақылайтын үлгі	
		Шақтамасы, мкм	Орындалу өлшемі, мм	Шақтамасы, мкм	Орындалу өлшемі, мм
Жоғары диаметрі, da	644	15	644+0,015	8	644±0,004
Бөлу диаметрі, d	580	6	580+0,006	4	580±0,002
Ойпаң диаметрі, df	530	6	530+0,006	4	530±0,002
Қадам, W	69,63	6	69,63+0,006	4	69,63±0,002
Тістің қалыңдығы, S	39,92	6	39,92+0,006	4	39,92±0,002
Тістің бөлу диаметріндегі жоғарғы биіктігі, ha	32,70	6	32,70+0,006	4	32,70±0,002
Тістің бөлу диаметріндегі ойпаңындағы биіктігі, hf	24,3	6	24,3+0,006	4	24,3±0,002



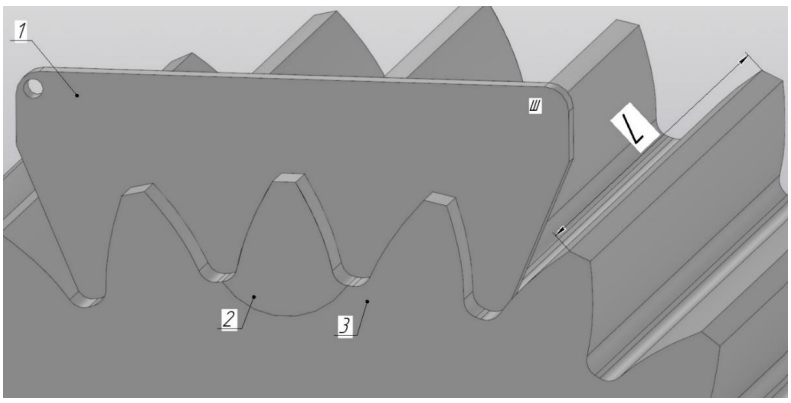
2-сурет – Үлгі және бақылайтын үлгінің жұмысшы сызбасы

геометриялық параметрлері мен орындалу өлшемдері есептелді.

2. Әзірленген профильдік үлгі арқылы тістің эвольвенталы профиліндегі ауытқуларды бақылауға болады.

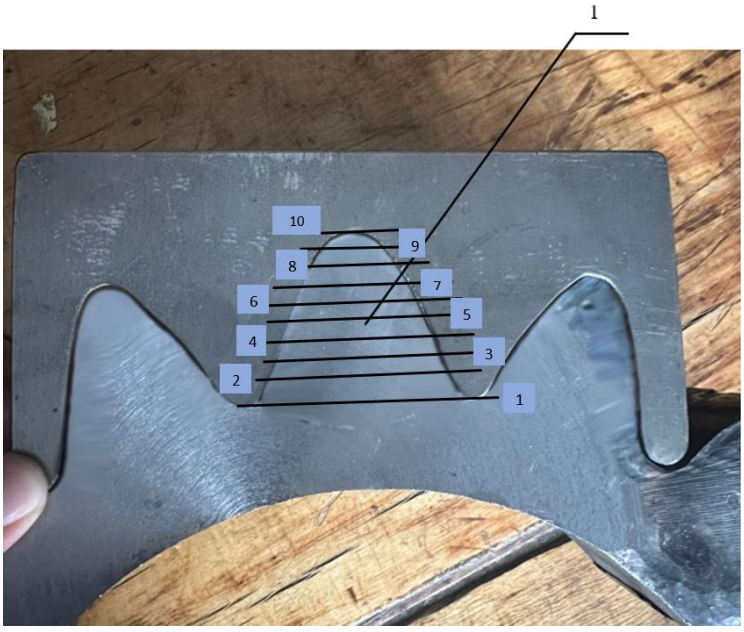
3. Үлгінің құрылымы қарапайым, сенімділігі жоғары және оны қолдану арнайы біліктілікті талап етпейді, бұл оны жөндеу өндірісінде тиімді құрал ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.

4. Жобаланған үлгі әмбебап сипатқа ие, арнайы баптауды қажет етпейді.



1 – үлгі; 2 – балқытылған тіс; 3 – тісті дөңгелек

3-сурет – Үлгімен балқытылған тістің пішінің қадағалау



1 – балқытылған тіс; 1, 2, 3...10 – қадағалау нүктелері

4-сурет – Балқытылған тістің профилін үлгімен қадағалау

3-кесте – Балқытылған тістің профилін үлгімен қадағалау нәтижелері

№	Тексеру нәтижелері	Саңылау немесе кері ліс, мм
1	жанасады	0
2	жанасады	-0,3
3	саңылау	-0,2
4	саңылау	-0,25
5	саңылау	-0,23
6	жанасады	0
7	жанасады	0
8	саңылау	-0,3
9	саңылау	-0,3
10	саңылау	-0,3

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. ГОСТ 16530-83. Передачи зубчатые: общие термины, определения и обозначения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1983. – 51 с.
2. Ryabtsev I., Fomichov S., Kuznetsov V., Chvertko Y. Surfacing and Additive Technologies in Welded Fabrication. – Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2023. – 349 p. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-34390-2.
3. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. ред. И.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004. Т. 1 / И.П. Алешин, Г.Г. Чернышов, Э.А. Гладков и др. – 624 с.: ил.
4. Ružica R.N., Svetislav M., Dusan A., Vukić L. Influence of different hard-facing procedures on quality of surfaces of regenerated gears // Production Engineering Archives. 2021. Vol. 27, No. 4, pp. 257-264. DOI:10.30657/pea.2021.27.34.
5. Smailova B.K., Buzauova T.M., Bartenev I.A., Davletova K. Restoration of large modular teeth of ball mill gears by electro-slag surface // Journal of Applied Engineering Science. 2024. Vol. 22, No. 2, pp. 483-491. DOI:10.5937/jaes0-49369.
6. ГОСТ 1643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1981. – 45 с.
7. ГОСТ 24853-81 Калибры гладкие для размеров до 500 мм. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1983. – 65 с.

Контроль профиля восстановленного крупномодульного зуба

****БУЗАУОВА Тоты Мейрбековна,*** *к.т.н., ассоциированный профессор, t.buzauova@ktu.edu.kz,*
СМАИЛОВА Бағлан Кабдуллаевна, *докторант, старший преподаватель, baglansmailova@mail.ru,*
САРБАЕВ Далельхан Ардакович, *магистрант, dalelhan20002@gmail.com,*
МАТЕШОВ Арман Кариевич, *старший преподаватель, a.mateshov@ktu.edu.kz,*
БЕЙБИТ Шугыла Галымжанкызы, *магистрант, beibutovva@mail.ru,*
НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,

**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Механизмы открытых передач выходят из строя в результате абразивного износа. Сломанные и пластически деформированные зубья крупномодульных колёс восстанавливаются методом электрошлаковой наплавки. В статье рассматривается шаблон для контроля профиля восстановленных эвольвентных зубьев крупномодульной шестерни. Для определения геометрических параметров эвольвентного профиля в работе были использованы начальные номинальные размеры зубчатого колеса и фактические параметры сохранившихся зубьев. Были рассчитаны размеры и допуски шаблона, разработаны рабочие чертежи. Представлены принцип работы шаблона и способ его базирования. Конструктивная простота шаблона делает его пригодным для использования в условиях ремонта. Разработанный профильный шаблон изготавливается для конкретной шестерни и служит инструментом для оперативного контроля восстановленного эвольвентного профиля. Данный подход является приоритетным с точки зрения эффективности, простоты и экономичности методов контроля с учётом особенностей ремонтного производства.*

Ключевые слова: *шаблон, эвольвентный профиль, восстановление, крупномодульные зубчатые колеса, допуск.*

Control of the Restored Large-Module Tooth Profile

***BUZAUOVA Toty,** *Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, t.buzauova@ktu.edu.kz,*
***SMAILOVA Baglan,** *Doctorial Student, Senior Lecturer, baglansmailova@mail.ru,*
***SARBAEV Dalelhan,** *Master's Student, dalelhan20002@gmail.com,*
***MATESHOV Arman,** *Senior Lecturer, a.mateshov@ktu.edu.kz,*
***BEIBIT Shygyla,** *Master's Student, beibutovva@mail.ru,*
NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

***Abstract.** Open gear mechanisms fail primarily due to abrasive wear. Broken and plastically deformed teeth of large-module gears are restored using the electroslag remelting method. This article presents a template designed for controlling the profile of restored involute teeth of a large-module gear. To determine the geometric parameters of the involute profile, the study used the initial nominal dimensions of the gear and the actual parameters of the preserved teeth. The dimensions and tolerances of the template were calculated, and working drawings were developed. The article outlines the operating principle of the template and the method of its positioning. The structural simplicity of the template makes it suitable for use under repair conditions. The developed profile template is manufactured for a specific gear and serves as a tool for rapid assessment of the restored involute profile. This approach is prioritized due to its efficiency, simplicity, and cost-effectiveness, taking into account the specifics of repair production.*

***Keywords:** template, involute profile, restoration, large-module gears, tolerance.*

REFERENCES

1. GOST 16530-83. Peredachi zubchaty`e; obshhie terminy`, opredeleniya i oboznacheniya. – Moscow: IPK Izdatel`stvo standartov, 1983. – 51 p.
2. Ryabtsev I., Fomichov S., Kuznetsov V., Chvertko Y. Surfacing and Additive Technologies in Welded Fabrication. – Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2023. – 349 p. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-34390-2.
3. Svarka. Rezka. Kontrol`: Spravochnik. 2-x tomax / Pod obshh. red. 24 I.P. Aleshina, G.G. Cherny`shova. – Moscow: Mashinostroenie, 2004. T. 1 / I.P. Aleshin, G.G. Cherny`shov, E`.A. Gladkov i dr. – 624 p.: il.
4. Ružica R.N., Svetislav M., Dusan A., Vukić L. Influence of different hard-facing procedures on quality of surfaces of regenerated gears // Production Engineering Archives. 2021. Vol. 27, No. 4, pp. 257-264. DOI:10.30657/pea.2021.27.34.
5. Smailova B.K., Buzauova T.M., Bartenev I.A., Davletova K. Restoration of large modular teeth of ball mill gears by electro-slag surface //Journal of Applied Engineering Science. 2024. Vol. 22 No. 2, pp. 483-491. DOI:10.5937/jaes0-49369.
6. GOST 1643-81. Osnovny`e normy` vzaimozamenyaemosti. Peredachi zubchaty`e cilindricheskie. Dopuski. – Moscow: IPK Izdatel`stvo standartov. 1981. – 45 p.
7. GOST 1643-81. Osnovny`e normy` vzaimozamenyaemosti. Peredachi zubchaty`e cilindricheskie. Dopuski. – Moscow: IPK Izdatel`stvo standartov. 1981. – 45 p.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_10 ӘОЖ 66.669.669-1

ЧХ16 жоғары хромды шойынның микроқұрылымы мен трибологиялық қасиеттеріне ниобиймен, титанмен және ванадиймен кешенді легірлеудің әсері

[1]***ТУЛЕПОВА Мөлдір Абілсеитқызы,** докторант, moldir_a_nur@mail.ru,
[1]**КВОН Светлана Сергеевна,** т.ғ.к., профессор, svetlana.1311@mail.ru,
[1]**КУЛИКОВ Виталий Юрьевич,** т.ғ.к., профессор, mlpikm@mail.ru,
[2]**ОКИШЕВ Константин Юрьевич,** ф.-м.ғ.д., профессор, k.okishev@inbox.ru,
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Ресей Федерациясының бірінші президенті Б.Н. Ельцин атындағы Орал федералды университеті, Мира көшесі, 19, Екатеринбург, Ресей,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Жұмыста ниобий, титан және ванадиймен кешенді легірлеудің ЧХ16 маркалы жоғары хромды шойынның микроқұрылымы мен трибологиялық қасиеттеріне әсерін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Салыстырмалы талдау жүргізу мақсатында базалық қорытпа және құрамында шамамен 1,5 масс. % Nb, 0,6 масс. % Ti және 0,6 масс. % V бар тәжірибелік қорытпа зерттелді. Микроқұрылымдық талдау нәтижелері бастапқы ЧХ16 шойынында материалдың жоғары морттылығын және карбидтер аралық жарылуға бейімділігін айқындайтын ірі пластиналы эвтектикалық M_7C_3 карбидтерінің қалыптасатынын көрсетті. Nb, Ti және V элементтерін енгізу неғұрлым изометриялық M_7C_3 карбидтерінің түзілуіне, сондай-ақ кристалдану орталықтары ретінде әрекет ететін және құрылымның ұсақталуына ықпал ететін $(Nb,V,Ti)_{1-x}C$-типті дисперсті фазаның бөлінуіне әкелді. Трибологиялық сынақтардың нәтижелері легірленген шойынның үйкеліс коэффициенті базалық шойынмен салыстырғанда шамамен 83%-ға төмендеп, 0,7-ден 0,12-ге дейін азаятындығын және сынау процесінде тұрақты мәнде сақталатынын көрсетті. Беткі профилометрия нәтижелері тозу тереңдігі мен кедір-бұдырлық параметрлерінің шамамен 50%-ға азайғанын анықтады, бұл кешенді легірленген қорытпаның тозуға төзімділігінің айтарлықтай артқанын дәлелдейді. Алынған нәтижелер ниобий, титан және ванадиймен кешенді қоспалаудың жоғары тиімділігін көрсетеді, бұл ЧХ16 маркалы шойынның тозуға төзімділігін едәуір арттыруға және абразивтік тозу жағдайында жұмыс істейтін бөлшектер үшін қолдану аясын кеңейтуге мүмкіндік береді.*

Кілт сөздер: *жоғары хромды шойын, карбид түзуші элементтер, микроқұрылым, тозуға төзімділік.*

Кіріспе. Жоғары хромды ақ шойындар абразивтік және коррозиялық тозудың ауыр жағдайларында жұмыс істейтін бөлшектерді, атап айтқанда шламды сорғылардың жұмыс дөңгелектерін, диірмен қаптамаларын, ұсатқыш плиталарды және тау-кен-металлургиялық жабдықтың басқа да элементтерін дайындау үшін дәстүрлі түрде қолданылады [1]. Олардың микроқұрылымы, әдетте, аустениттік немесе мартенситтік матрицада орналасқан эвтектикалық M_7C_3 карбидтерінен тұрады, бұл жоғары қаттылық пен тозуға төзімділікті қамтамасыз етеді.

Алайда ірі өлшемді M_7C_3 карбидтері жоғары морттылықпен сипатталады және үгілуге бейім, өндірістік пайдалану жағдайларында мұндай қорытпалардың қызмет ету мерзімін шектейді. Осы шойындардың тозуға төзімділігін арттырудың тәсілдерінің бірі – қатты әрі тұрақты карбидтер түзетін және бір мезгілде эвтектикалық M_7C_3 фазасын модификациялайтын карбидтүзгіш элементтермен легірлеу болып табылады. Бұл бағытта ең үлкен назар ниобийге, ванадийге және титанға аударылған [2].

Ниобий аустенитте төмен ерігіштігімен

сипатталады және микроқаттылығы шамамен 2400 HV болатын бастапқы NbC карбидтерін түзеді, бұл эвтектикалық M_7C_3 карбидтерінің микроқаттылығынан (шамамен 1500 HV) едәуір жоғары. NbC карбидтерінің түзілуі эвтектикалық карбидтердің ұсақталуына ықпал етіп, қорытпаның тозуға төзімділігін арттырады. [3] деректері бойынша 0,9-1,6 масс. % Nb қосу жоғары хромды шойынның тозуға төзімділігін бастапқы құраммен салыстырғанда 48%-ға дейін арттырады. Сол сияқты, [4] жұмысында Nb мөлшерін 4 масс. %-ға дейін арттыру көлемдік тозудың төмендеуіне әкелетіні көрсетілген, ал [5] зерттеуінде Nb-ның төмен концентрацияларында (0,5-1,0 масс. %) ұсақ дисперсті NbC карбидтерінің біркелкі таралуын қамтамасыз ететін оңтайлы әсер байқалатыны анықталған.

Ванадий де жоғары хромды шойындардың микроқұрылымы мен қасиеттеріне елеулі әсер етеді. Ол микроқаттылығы 2600 HV-қа дейін жететін ұсақ дисперсті VC карбидтерін түзеді, бұл матрицаны да, карбидтік фазаны да нығайтады. [6] мәліметтері бойынша 0,5-1,0 масс. % V қосу VC карбидтерінің үлесін арттырып, тозуға төзімділікті жақсартады, ал ванадийдің жоғары мөлшері карбидтердің іріленуіне және морттылықтың артуына әкеледі.

Титан микроқаттылығы шамамен 3000 HV болатын TiC карбидтерін түзеді. TiC бөлшектері кристалдану орталықтары ретінде әрекет етіп, эвтектикалық M_7C_3 карбидтерінің ұсақталуына ықпал етеді. [7] зерттеулерінде 0,6 масс. % Ti қосу ұсақ дисперсті карбидтік фазаның біркелкі түзілуі есебінен қаттылық пен тұтқырлықтың оңтайлы үйлесімін қамтамасыз ететіні көрсетілген. Алайда титан мөлшері артқан жағдайда ірі TiC карбидтері түзіліп, иілімділіктің төмендеуіне және сегрегация құбылыстарына алып келуі мүмкін [8].

Осылайша, әдеби деректер жоғары хромды шойындарды Nb, V және Ti сияқты элементтермен легірлеудің тиімділігін растайды [9]. Сонымен қатар, осы элементтердің дәл осындай комбинациясымен кешенді легірлеуге арнайы арналған зерттеулер іс жүзінде жоқ. Дегенмен, кешенді легірлеуді қолдану легірлеуші қоспалардың жалпы мөлшерін азайтып, жекелеген элементтермен легірлеумен салыстырғанда қасиеттердің анағұрлым жоғары деңгейіне қол жеткізуге мүмкіндік береді деп пайымдауға болады [10].

Осы жұмыстың мақсаты – базалық ЧХ16 маркалы шойын және құрамында шамамен 1,5 масс. % ниобий, 0,6 масс. % титан және 0,65 масс. % ванадий бар легірленген нұсқасының микроқұрылымы мен тозуға төзімділігін салыстырмалы түрде зерттеу болып табылады.

Материалдар мен әдістер. Тәжірибелік қорытпа қосымша көміртектенуді болдырмау мақсатында алундтан жасалған тигельде зертханалық индукциялық пеште балқытылды. Негізгі материал ретінде ниобий, ванадий және титан қоспаларымен легірленген ЧХ16 маркалы шойын қолданылды. Қажетті химиялық құрамды қамтамасыз ету үшін қорытпаға бөлшек өлшемі ≤ 5 мм болатын ферониобий ФНб60, феррованадий ФВд50 және ферротитан ФТи70 енгізілді. Шихта есебі легірлеуші элементтердің балқыту кезіндегі жанып кетуін ескере отырып жүргізілді, нәтижесінде қорытпадағы ниобий, ванадий және титанның мөлшері тиісінше шамамен 1,5% Nb, 0,65% V және 0,6% Ti деңгейінде қамтамасыз етілді. Балқыма дәстүрлі құм-саз қалыптарға құйылды. Қалыпты бұзғаннан және толық салқындағаннан кейін алынған үлгілер диаметрі 60 мм және биіктігі 100 мм болатын цилиндр пішінді болды.

Салқындағаннан кейін құйма дайындамалар стандартты үлгі дайындау операцияларынан өткізілді, оның ішінде тегістеу, жылтырату және химиялық өңдеу жүргізілді. Химиялық құрам оптикалық-эмиссиялық спектрометрия әдісімен (PolySpek-F) анықталды. Микроқұрылымды зерттеу үшін энергия-дисперсиялық талдау (EDS) жүйесімен жабдықталған JEOL JSM-IT200 сканерлеуші электрондық микроскопы пайдаланылды.

Тозуға төзімділік сынақтары құрғақ үйкеліс жағдайында «шар–диск» сызбасы бойынша жүргізілді. Қарсы дене ретінде диаметрі 6 мм болатын шыңдалған болат шар қолданылып, оған 2 Н нормаль күш түсірілді. Сынақтар сызықтық сырғанау жылдамдығы 0,1 м/с болғанда, ұзындығы 200 м шеңберлік траектория бойынша орындалды. Сынақ шарттары бөлме температурасына (20–25°C) және салыстырмалы ауа ылғалдылығы шамамен 75% деңгейіне сәйкес келді.

Сынақтар аяқталғаннан кейін тозған беттер Veeco 3D/2D профилометрінің көмегімен зерттелді. Беткі кедір-бұдырлық параметрлері (Ra, Rq, Rt), сондай-ақ тозу ізінің тереңдігі мен ені анықталды. Алынған профильдер негізінде тозу көлемінің сипаттамалары есептелді. Тозу көлемін анықтау Veeco 3D профилометрі арқылы алынған үш өлшемді беткі профильдер негізінде жүргізілді. Әрбір үлгі үшін биіктік картасы құрастырылып, аспаптың бағдарламалық қамтамасыз етуін қолдана отырып интегралды көлемдік тозу параметрі V есептелді. Тозу көлемі контакт аймағы шегінде бастапқы және тозған профильдер арасындағы айырма ретінде анықталды. Қосымша түрде меншікті тозу көрсеткіші есептелді.

$$I = \frac{V}{F \cdot S},$$

мұндағы V – тозу көлемі, мм^3;

F – нормаль күш, Н;

S – үйкеліс жолы, м.

Нәтижелер мен талқылау. ЧХ16 шойынының микроқұрылымы болжаған сипатқа сәйкес келеді. Бастапқы ЧХ16 шойынының микроқұрылымында (1,а-сурет) пластинкалық морфологиясы бар ірі эвтектикалық M_7C_3 типті карбидтер анық көрінеді. Карбидтер аралық кеңістік аустениттік матрицамен толтырылған, карбидтердің іріленгендігі байқалады, бұл материалдың морттылығының артуына және карбидтер аралық жарылуға бейімділіктің жоғарылауына ықпал етуі мүмкін.

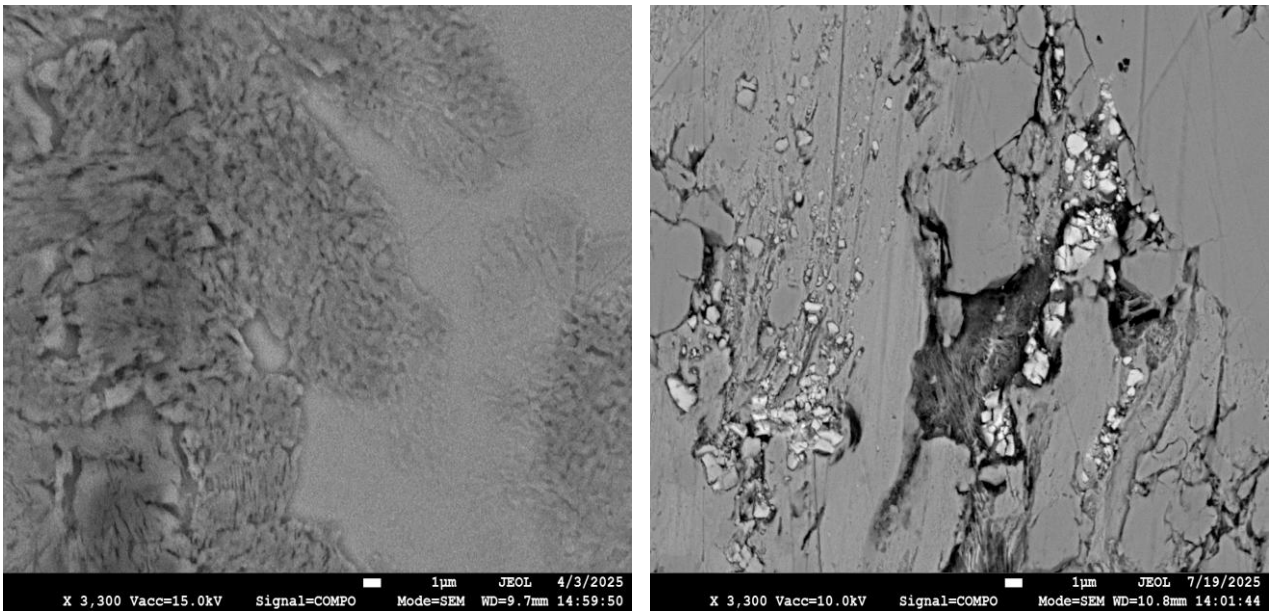
Легірленген ЧХ16 шойынының микроқұрылымында (1,б-сурет) аустениттік матрицада біркелкі таралған, салыстырмалы түрде изометриялық ашық түсті карбидтер тіркеледі. Мұндай ұсақ дисперсті бөлшектердің болуы базалық қорытпаға тән ұзын пластинкалық M_7C_3 карбидтерінің түзілуін тежеуге ықпал етуі тиіс.

2,а-суретте сол жағында (22 нүкте) ашық контрастты ірі блок тәрізді карбид тіркелген. ЭДС-анализі (оң жақта) ниобийдің (23,4% Nb) жоғары көміртек құрамымен (69,6% C) бар екенін анықтады, бұл $Nb_{0,25}C$ фазасына сәйкес келеді. Хром (Cr), титан (Ti) және ванадий (V) элементтерінің аз мөлшері олардың карбид құрылымына ішінара қатысатынын көрсетеді. Айта кету керек, ниобий көміртекпен жоғары ұқсастыққа ие болып, кристалданудың бастапқы кезеңдерінде NbC карбидін түзуге бейім. Сол себепті, анықталған карбидтердің құрамында Nb басым болып, ал титан, ванадий және хром тек аз мөлшерде анықталады. Көп ықтималдықпен аталған фазалар әртүрлі құрамды $(Nb,Ti,V)_{1-x}C$ типті легірленген карбидтер болып табылады.

Профилометриялық талдау (3-сурет) базалық және легірленген ЧХ16 шойындарының тозу сипаты бойынша елеулі айырмашылықтарды көрсетті. Бастапқы қорытпа

Тәжірибелік қорытпа мен ЧХ16 шойынының химиялық құрамы

Атауы	Элементтердің өлшемі, %									
	C	Si	Mn	Cr	Ti	V	Nb	P	S	Fe
ЧХ16 шойыны (МЕМСТ 7769-82)	1,6-2,4	1,5-2,2	0,96	13-19	-	-	-	0,1	0,05	ост
Тәжірибелік қорытпа	2,05	1,93	0,62	15,1	0,58	0,63	1,48	0,1	0,05	ост



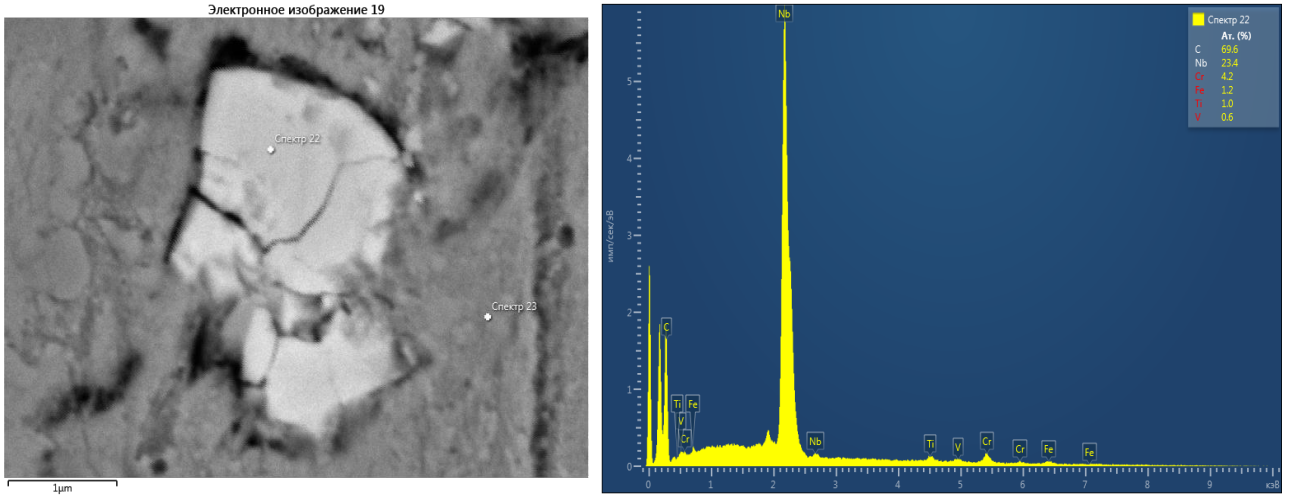
а б

1-сурет – Жоғары хромды шойынның микроқұрылымы: а) базалық ЧХ16 шойыны; б) легірленген ЧХ16 шойыны

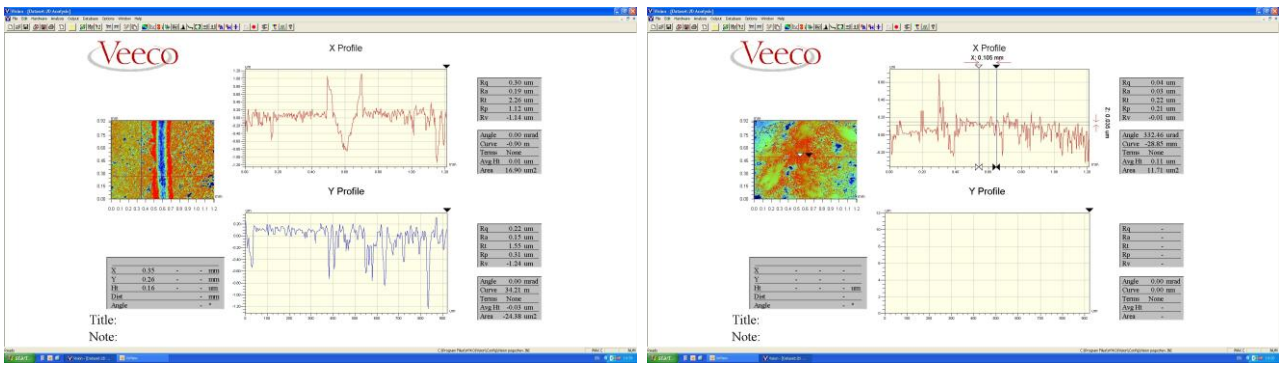
(3,а-сурет) бетінде терең тозу іздері байқалады, беткі кедір-бұдырлық параметрлері жоғары: Ra ≈ 202 нм, Rq ≈ 340 нм және Rt ≈ 7,8 мкм. Беткей тереңдігі мен зақымданудың біркелкі еместігі абразивтік тозуға төмен тұрақтылықты көрсетеді. Легірленген ЧХ16 шойынында (3,б-сурет) тозу ізінің тереңдігі айтарлықтай төмендеп, беткі кедір-бұдырлық параметрлері шамамен екі есе азайды: Ra ≈ 104 нм, Rq ≈ 142 нм және Rt ≈ 3,9 мкм. Беткі рельеф біркелкіленген, бұл микроқазу және қабатталу процестерінің бәсеңдеуін көрсетеді. Алынған нәтижелер карбидтүзгіш элементтердің енгізілуі құрылымды ұсақтауға және қатты карбидтердің түзілуіне ықпал ететінін, соның арқасында беткі тозуды тежеуге мүмкіндік беретінін растайды.

Профильдерді талдау нәтижесінде базалық шойын үшін тозу көлемі V шамамен $2{,}4 \cdot 10^{-3}$ мм^3, ал легірленген шойын үшін шамамен $1{,}1 \cdot 10^{-3}$ мм^3 екені анықталды, бұл тозу көлемінің шамамен 55% төмендеуіне сәйкес келеді. Алынған деректер жиынтығы кешенді легірлеудің арқасында тозуға төзімділіктің артқанын көрсетеді. Беткі тозуды талдауға қосымша ретінде үйкеліс коэффициентін анықтау сынақтары жүргізілді, бұл үйкеліс процесінің тұрақтылығын бағалау мақсатында жасалды. Нәтижелер көрсеткендей (4-сурет), базалық ЧХ16 шойыны жоғары үйкеліс коэффициентімен сипатталады (орташа ~0,7) және айқын тербелістерге ие, бұл үйкеліс процесінің тұрақсыз сипатын көрсетеді. Үйкеліс коэффициентінің өсуі ұзындыққа байланысты ірі эвтектикалық M_7C_3 карбидтерінің қабатталуы және абразивтік бөлшектердің түзілуімен байланысты, олар микроқазу процесін күшейтеді.

Керісінше, легірленген шойын төмен және тұрақты үйкеліс коэффициентін (~0,12) көрсетеді, бұл ұсақ дисперсті карбидтердің

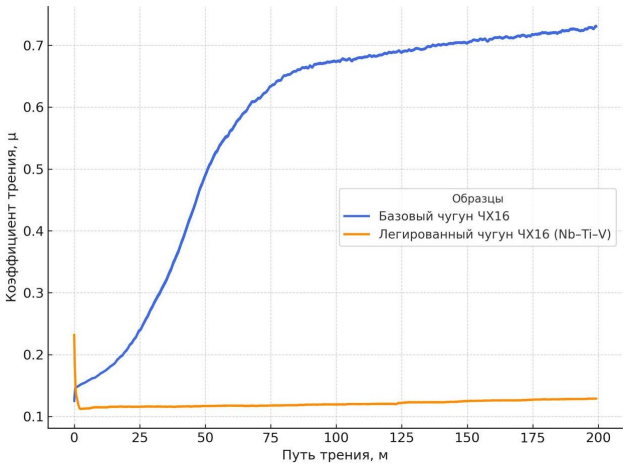


2-сурет – Легірленген шойынның EDS-анализінің нәтижелері



а б

3-сурет – Базалық ЧХ16 шойынының тозу іздері (а) және легірленген ЧХ16 шойынының тозу іздері (б)



4-сурет – Базалық және легірленген ЧХ16 шойындарының үйкеліс коэффициентінің үйкеліс жолына тәуелділігі

түзілуіне байланысты, олар беткі қабатты нығайтып, тозу зақымдарының дамуын тежейді. Осындай сипат тозу ізінің тереңдігінің азаюы мен беткі рельефтің тегістелуімен байланысты болады.

Қорытынды. Шамамен 1,5% Nb, 0,6% Ti және 0,65% V массалық мөлшерінде жүргізілген кешенді легірлеу құрылымның өзгеруіне әкелді: карбидтердің изометриялық формасының артуы, біркелкі таралуы және $(Nb,Ti,V)_{1-x}C$-типті жаңа карбид фазасының түзілуі байқалды, оның болуы беткі тозуға төзімділіктің артуына ықпал етеді.

Трибологиялық зерттеулер нәтижелері көрсеткендей, базалық шойында тозу ізінің тереңдігі Rt ≈ 7,8 мкм деңгейінде болса, тәжірибелік үлгілерде бұл көрсеткіш шамамен екі есе төмендеп (≈3,9 мкм) отыр.

Үйкеліс сынақтары көрсеткендей, бастапқы қорытпаның үйкеліс коэффициенті 0,7 болса, легірленген үлгідегі мән 0,12-ге дейін төмендеді, бұл контакт қабатының тұрақтылығының артуымен және тозуға төзімділіктің қосымша жақсаруының нәтижесі болып табылады.

Осылайша, ниобий, титан және ванадий арқылы жүргізілген кешенді легірлеу ЧХ16 шойынының трибологиялық сипаттамаларын айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері Қазақстан Республикасы Ғылым Комитетінің гранты аясында AP26103843 «Берілген қасиеттері бар жаңа материалдарды алудың физика-химиялық негіздерін әзірлеу» тақырыбы бойынша жүргізілді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Aubakirov, D., Issagulov, A., Kvon, S., Kulikov V. Chsherbakova, Y., Arinova, S. Modifying Effect of a New Boron-Barium Ferroalloy on the Wear Resistance of Low-Chromium Cast Iron // Metals, 2022, 12 (7), 1153. DOI: 10.3390/met12071153
2. Issagulov, A.Z., Kulikov, V.Y., Chsherbakova, Y.P., Kovaleva, T.V., Kvon, S.V. The corrosion resistant coating with halloysite nanoparticles // Metalurgija, 2016, 55 (3), pp. 426-428.
3. Oliveira, C., et al. Effect of niobium on wear resistance of high chromium white cast irons. Wear, 2016, 348-349, pp. 109-117.
4. Bedolla-Jacuinde, A., et al. Microstructure and wear behavior of high-Cr white irons with Nb additions. Journal of Materials Research and Technology, 2019, 8 (6), pp. 5287-5299.
5. Melo, H.G., et al. Optimization of Nb content in high chromium cast irons for wear resistance. Materials Today: Proceedings, 2022, 62, pp. 3159-3166.
6. Zhou, Y., et al. Influence of vanadium additions on the microstructure and properties of high chromium cast iron. Materials Characterization, 2017, 131, pp. 42-49.
7. Liu, J., et al. Effect of titanium on the microstructure and wear resistance of high chromium cast iron. Materials Science and Engineering A, 2018, 718, pp. 190-198.
8. Kvon, S.S., Kulikov, V.Y., Issagulov, A.Z., Dostayeva, A.M., Kovalyova, T.V. Studying structure and properties of shaped ingots obtained in various conditions of crystallization // Metalurgija, 2018, 57 (4), pp. 313-316, 201751.
9. Dostayeva, A.M., Erahtina, I.I., N.R. Zholmagambetov, N.R., Medeubayev, N.A., Zholmagambetov, S.R. Investigation of aluminum-titanium alloys production and labor safety in metal smelting process, Metalurgija, 2021, 60 (3-4), pp. 403-406.
10. Kovalyova, T., Eremin, E., Arinova, S., Medvedeva, I., Dostayeva, A. Enhancing surface roughness of castings when sand-resin mold casting, Metalurgija, 2017, 56 (1-2), pp. 135-138.

Влияние комплексного легирования ниобием, титаном и ванадием на микроструктуру и трибологические свойства высокохромистого чугуна ЧХ16

*[1]*ТУЛЕПОВА Мөлдір Абілсеитқызы,* *докторант, moldir_a_nur@mail.ru*
[1]КВОН Светлана Сергеевна, к.т.н., профессор, svetlana.1311@mail.ru,
[1]КУЛИКОВ Виталий Юрьевич, к.т.н., профессор, mlpikm@mail.ru,
[2]ОКИШЕВ Константин Юрьевич, д.ф.-м.н., профессор, k.okishev@inbox.ru,
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, ул. Мира, 19, Екатеринбург, Россия,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В работе представлены результаты исследования влияния комплексного легирования ниобием, титаном и ванадием на микроструктуру и трибологические свойства высокохромистого чугуна ЧХ16. Для сравнительного анализа были изучены базовый сплав и экспериментальные образцы, содержащие около 1,5% Nb, 0,6% Ti и 0,6% V. Анализ микроструктуры показал, что в исходном ЧХ16 формируются крупные пластинчатые эвтектические карбиды M_7C_3, определяющие повышенную хрупкость и склонность к межкарбидному растрескиванию. Введение Nb, Ti и V привело к формированию более изометричных карбидов M_7C_3 и выделению дисперсной фазы типа $(Nb,V,Ti)_{1-x}C$, которые действуют как центры кристаллизации и способствуют измельчению структуры. Результаты трибологических испытаний показали, что коэффициент трения у легированного чугуна снижается примерно на 83%, по сравнению с базовым чугуном с 0,7 до 0,12, и остается стабильным в процессе испытаний. Профилометрия поверхности выявила уменьшение глубины износа и параметров шероховатости почти на 50%, что свидетельствует о существенном повышении износостойкости легированного сплава. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности комплексного легирования Nb, Ti и V, которое позволяет существенно повысить износостойкость чугуна ЧХ16 и расширить область его применения для деталей, работающих в условиях абразивного износа.*

Ключевые слова: *высокохромистый чугун, карбидообразующие элементы, микроструктура, износостойкость.*

Influence of Complex Alloying with Niobium, Titanium and Vanadium on the Microstructure and Tribological Properties of High-chromium Cast Iron ChH16

*[1]*TULEPOVA Moldir, Doctoral Student, moldir_a_nur@mail.ru,*
[1]KVON Svetlana, Cand. of Tech. Sc., Professor, svetlana.1311@mail.ru,
[1]KULIKOV Vitaliy, Cand. of Tech. Sc., Professor, mlpikm@mail.ru,
[2]OKISHEV Konstantin, Dr. of Phys.-Math. Sc., Professor, k.okishev@inbox.ru,
[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Mira Street, 19, Yekaterinburg, Russia,
**corresponding author.*

Abstract. *The paper presents the results of a study on the influence of complex alloying with niobium, titanium and vanadium on the microstructure and tribological properties of high-chromium cast iron ChH16. For comparative analysis, a base alloy and experimental specimens containing about 1.5 wt. % Nb, 0.6 wt. % Ti and 0.6 wt. % V were examined. Microstructural analysis showed that in the initial ChH16 large plate-like eutectic M_7C_3 Carbides are formed, which determine the increased brittleness and tendency to intercarbide cracking. The addition of Nb, Ti and V leads to the formation of more equiaxed M_7C_3 carbides and the precipitation of a dispersed $(Nb,V,Ti)_{1-x}C$-type phase, which acts as crystallization nuclei and promotes structure refinement. The results of tribological tests showed that the friction coefficient of the alloyed cast iron decreases by approximately 83% compared with the base cast iron, from 0.7 to 0.12, and remains stable during testing. Surface profilometry revealed a decrease in wear depth and roughness parameters by almost 50%, indicating a significant increase in the wear resistance*

of the alloyed cast iron. The obtained results demonstrate the high effectiveness of complex alloying with Nb, Ti and V, which makes it possible to substantially improve the wear resistance of ChH16 cast iron and to expand its application for parts operating under abrasive wear conditions.

Keywords: *high-chromium cast iron, carbide-forming elements, microstructure, wear resistance.*

REFERENCES

1. Aubakirov, D., Issagulov, A., Kvon, S., Kulikov V. Chsherbakova, Y., Arinova, S. Modifying Effect of a New Boron-Barium Ferroalloy on the Wear Resistance of Low-Chromium Cast Iron // Metals, 2022, 12 (7), 1153. DOI: 10.3390/met12071153
2. Issagulov, A.Z., Kulikov, V.Y., Chsherbakova, Y.P., Kovaleva, T.V., Kvon, S.V. The corrosion resistant coating with halloysite nanoparticles // Metalurgija, 2016, 55 (3), pp. 426-428.
3. Oliveira, C., et al. Effect of niobium on wear resistance of high chromium white cast irons. Wear, 2016, 348-349, pp. 109-117.
4. Bedolla-Jacuinde, A., et al. Microstructure and wear behavior of high-Cr white irons with Nb additions. Journal of Materials Research and Technology, 2019, 8 (6), pp. 5287-5299.
5. Melo, H.G., et al. Optimization of Nb content in high chromium cast irons for wear resistance. Materials Today: Proceedings, 2022, 62, pp. 3159-3166.
6. Zhou, Y., et al. Influence of vanadium additions on the microstructure and properties of high chromium cast iron. Materials Characterization, 2017, 131, pp. 42-49.
7. Liu, J., et al. Effect of titanium on the microstructure and wear resistance of high chromium cast iron. Materials Science and Engineering A, 2018, 718, pp. 190-198.
8. Kvon, S.S., Kulikov, V.Y., Issagulov, A.Z., Dostayeva, A.M., Kovalyova, T.V. Studying structure and properties of shaped ingots obtained in various conditions of crystallization // Metalurgija, 2018, 57 (4), pp. 313-316, 201751.
9. Dostayeva, A.M., Erahtina, I.I., N.R. Zholmagambetov, N.R., Medeubayev, N.A., Zholmagambetov, S.R. Investigation of aluminum-titanium alloys production and labor safety in metal smelting process, Metalurgija, 2021, 60 (3-4), pp. 403-406.
10. Kovalyova, T., Eremin, E., Arinova, S., Medvedeva, I., Dostayeva, A. Enhancing surface roughness of castings when sand-resin mold casting, Metalurgija, 2017, 56 (1-2), pp. 135-138.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_17 ӘОЖ 621.762

Феррохромды пайдалану арқылы коррозияға төзімді болаттың ұнтақ қоспасын дайындау

[1]**АХМЕТОВ Аманкельды Серикбаевич,** *PhD, аға ғылыми қызметкер, aman1aotero@gmail.com,*
[2]***ТӨЛЕУҚАДЫР Руслан Төлеужанұлы,** магистр, ғылыми қызметкер, rus.toleukadyr@gmail.com,*
[3]**ЖУНУСОВ Аблай Каиртасович,** *т.ғ.к., кафедра меңгерушісі, zhunusov_ab@mail.ru,*
[4]**АЯГАНОВА Жулдыз Темиржановна,** *магистрант, ayaganova2003@list.ru,*
[2]**МАХАМБЕТОВ Ерболат Нысаналыулы,** *PhD, зертхана меңгерушісі, makhambetovyerbolat@gmail.com,*
[1]«QazMetals Engineering ҒЗО» ЖШС, Мұқанов көшесі, 61/2, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Ермеков көшесі, 63, Қарағанды, Қазақстан,
[3]«Торайғыров университеті» КеАҚ, Ломов көшесі, 64, Павлодар, Қазақстан,
[4]«МИСиС» ұлттық зерттеу технологиялық университеті, Ленинский даңғылы, 4, Мәскеу, Ресей,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Илемдеу отқабыршағынан алынған темір ұнтағы негізінде дисперсті өздігінен ұнтақталатын ФХ800А жоғары көміртекті феррохромды (ЖКФХ) легирлеуші қоспа ретінде қолдану арқылы коррозияға төзімді болаттың ұнтақ қоспасын алу мүмкіндігі зерттелді. Бастапқы отқабыршақ ультрадыбыстық ваннада әртүрлі орталарда тазаланды және этил спиртінің сода ерітіндісіне қарағанда ластануларды анағұрлым тиімді жоятындығы анықталды, бұл оның жақсы ылғалдандыру қабілетіне, белсенді кавитацияға және органикалық қоспаларды еріту қасиетіне байланысты. Тазалаудан кейін отқабыршақ сутегімен тотықсыздандырылып, планетарлық центрифугалы диірменде (ПЦД) механикалық өңдеуден өткізілді. Осындай өңдеу тотықсыздандырылған ұнтақ пен ЖКФХ қоспасына да жүргізілді. Растрлық электрондық микроскопия (РЭМ) және элементтердің таралу карталары ұнтақ қоспасында хром мен кремнийдің біркелкі таралғанын көрсетті, бұл жоғары энергиялы ұнтақтау барысында механикалық легирлеудің жүзеге асқанын дәлелдейді. Алынған нәтижелер ферроқорытпаларды коррозияға төзімді болат ұнтақ қоспаларын алуда элементар ұнтақтарға қолжетімді әрі экономикалық тиімді балама ретінде қолданудың перспективалы екенін көрсетеді.*

***Кілт сөздер:** ферроқорытпа, хром, болат, коррозияға төзімді болат, легирлеу, ұнтақ металлургиясы.*

Кіріспе

Ұнтақ болаттарды алудың бірнеше әдістері бар, олардың ішінде өнеркәсіпте ең кең таралғаны – балқыманы шашырату (диспергирлеу) әдісі болып табылады [1]. Бұл әдістің мәні болатты балқытып, кейін балқыма ағынын газ немесе су ағынымен шашырату арқылы сфералық немесе дөңгелек морфологияға ие ұнтақ бөлшектерін алу болып табылады. Әдістің артықшылығы – салыстырмалы түрде төмен өзіндік құны бар және химиялық құрамы біркелкі ұнтақтарды алу мүмкіндігі. Ал кемшілігі – бөлшектер бетінің жоғары қаттылығы, соның салдарынан оларды тығыздау үшін ыстық престеу немесе ыстық изостатикалық престеу сияқты күрделі әрі қымбат технологиялар қажет болуында. Сондықтан балама ретінде болат ұнтақ қоспаларын алу кеңінен қолданылады [2].

Мұндай қоспалар, әдетте, таза темір, легирлеуші элементарлы ұнтақтарын және көміртек көзі ретінде графит немесе күйе ұнтақтарын араластыру арқылы алынады. Коррозияға төзімді болаттар үшін негізгі легирлеуші элемент ретінде хром ұнтағы енгізіледі. Темір матрицасының жеткілікті пластикалығының арқасында мұндай қоспалар суық престеу және кейінгі изотермиялық жентектелу сияқты қарапайым технологиялармен оңай қалыптасады.

Сонымен қатар, диффузиялық легирленген ұнтақтар да қолданылады, мұнда легирлеуші элементтер жоғары температурада негізгі матрицамен металдық байланыс түзеді [3]. Мұндай жағдайда ұнтақ қоспасы вакуумда, инертті немесе тотықсыздандырғыш ортада қыздырылып, бөлшектер арасында диффузиялық байланыс қалыптасады. Сондай-ақ темір ұнтағының құрамына оңай тотықсызданатын қосылыстар енгізіліп, олар кейінгі өңдеу барысында металдық күйге келтіріледі.

Алайда коррозияға төзімді болаттар үшін элементарлы хром ұнтағының қымбаттылығы және хром оксидінің сутегімен төмен температурада тотықсызданбауы бұл әдісті шектейді. Сондықтан зерттеулер көбінесе вольфрам, молибден және кобальт сияқты оңай тотықсызданатын металдардың оксидтеріне бағытталған [4]. Ал хром оксиді қалыпты жағдайда сутегімен тотықсызданбайды.

Қазіргі уақытта ферроқорытпаларды ұнтақ металлургиясында легирлеуші элемент көзі ретінде қолдану бойынша зерттеулер өте аз. Алайда ферроқорытпаларда диффузия коэффициенті жоғары болуы мүмкін, бұл легирлеуші элементтердің біркелкі таралуына мүмкіндік береді. Сонымен қатар ферроқорытпалардың құны элементар ұнтақтарға қарағанда едәуір төмен және олардың құрамындағы негізгі әрі қосымша элементтердің оңтайлы арақатынасы қажетті болат құрамын қамтамасыз ете алады.

Ферроқорытпаларды қолданудағы тағы бір артықшылық – өздігімен ұсақталу қасиетінде және ұсақтау кезінде пайда болатын дисперсті фракцияларды қолдану мүмкіндігінде.

Бұл жұмыстың мақсаты – илемдеу отқабыршағынан алынған темір ұнтағы мен феррохром ұнтағы негізінде коррозияға төзімді болаттың ұнтақ қоспасын алу мүмкіндігін эксперименттік тұрғыдан зерттеу.

Материалдар мен әдістер

Бастапқы материалдар ретінде илемдеу отқабыршағы және өздігінен ұсақталатын ФХ800А ЖКФХ ұнтағы қолданылды. 1-кестеде бастапқы материалдардың химиялық құрамдары көрсетілген.

Илемдеу отқабыршағы бастапқы түрде тек металл емес қоспаларға ие болумен қоса майлы болды. Отқабыршақ ультрадыбыстық ваннада әртүрлі орталарда тазаланды (35-40 кГц, 60 минут). Тазаланған отқабыршақ сутегі ағынында 1050°С температурада 60 минут тотықсыздандырылды. Алынған кеуекті өнім ПЦД 800 айн/мин жылдамдықпен 30 минут ұнтақталды. Ұнтақ 250 мкм електен өткізілді. Кейін темір ұнтағы мен ЖКФХ ұнтағы 4:1 массалық қатынаста араластырылып, сол режимде механикалық өңделді.

Микроструктуралық зерттеулер ZepTools ZEM20 (ZepTools, ҚХР) электрондық микроскопында және Oxford (Oxford Instruments, Ұлыбритания) EDS жүйесінде жүргізілді.

Нәтижелер және талқылау

2-кестеде бастапқы илемдеу отқабыршағын соданың сулы ерітіндісі мен этил спиртінде ультрадыбыстық ваннада тазалау нәтижесінде алынған химиялық құрамы көрсетілген.

2-кестеден этил спирті ортасында ультрадыбыстық өңдеуден кейін отқабыршақтың едәуір дәрежеде тазаланғанын көруге болады. Элементтік талдау нәтижелері натрий

1-кесте – Бастапқы материалдардың химиялық құрамы

Материал	Элементтің үлесі, %										
	O	Na	S	Al	Si	Ca	Mn	Fe	Cr	P	C
Илемдеу отқабыршағы	40,22	5,12	0,16	1,28	4,02	8,45	0,40	40,35	-	-	-
ЖКФХ ұнтағы	-	-	0,06	-	2	-	-	ост.	75,0	0,03	7,0

2-кесте – Әртүрлі ортада ультрадыбыстық ваннада тазартылған отқабыршақтың химиялық құрамы

Тазарту ортасы	Элементтің үлесі, %							
	O	Na	S	Al	Si	Ca	Mn	Fe
Сода ерітіндісі	36,62	4,13	0,11	0,99	3,88	7,87	0,44	45,96
Этил спирті	31,47	0,58	0,15	0,56	1,79	3,08	0,30	62,07

мөлшерінің 5 есе, кремнийдің 2 есе және кальцийдің 2,5 есе азайғанын көрсетті.

Ультрадыбыстық тазалау кавитация құбылысына негізделген: пайда болып, кейін жарылатын көпіршіктер жергілікті қысым соққыларын және микросоқпақ ағындарды тудырады, олар механикалық жанасусыз ластануларды бұзып, оксидтік қабықшаларды жояды. Этил спирті сода ерітіндісіне қарағанда төменірек беттік керілуі мен жақсырақ ылғалдандыру қабілетінің арқасында тиімдірек тазартады, бұл кавитациялық көпіршіктердің бөлшектер бетіне жақынырақ жарылуына мүмкіндік беріп, тазалау әсерін күшейтеді. Сонымен қатар, спирт органикалық ластануларды жақсы ерітеді, ал сода ерітіндісі жоғары тұтқырлық пен беттік керілу салдарынан кавитацияны ішінара бәсеңдетеді.

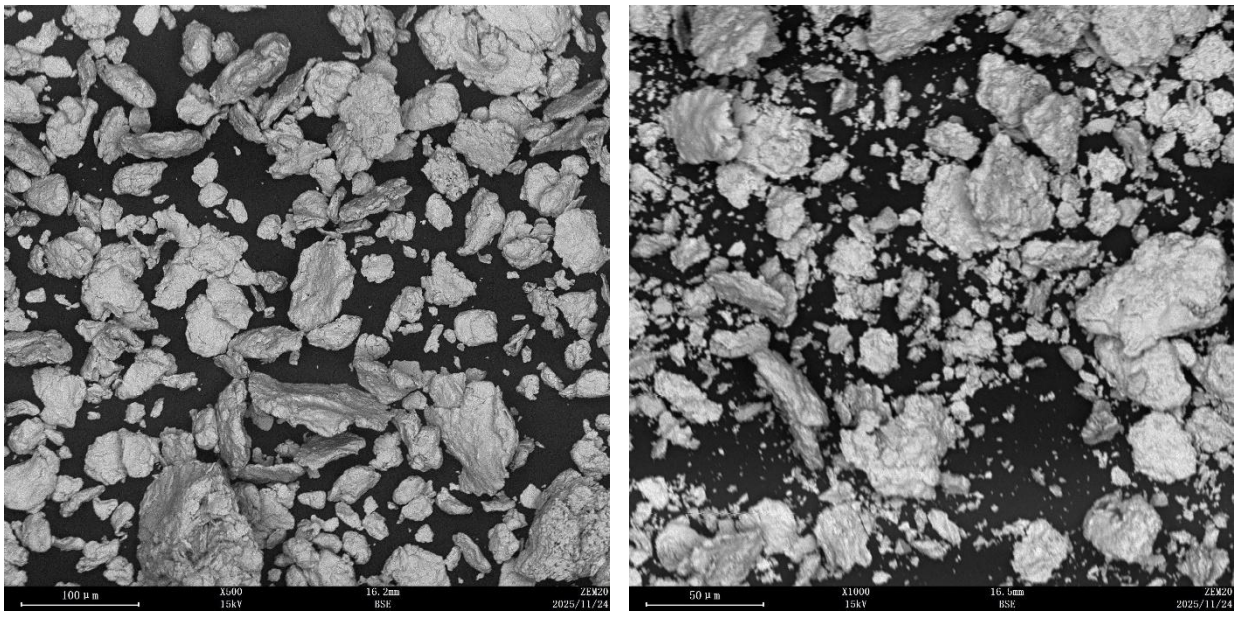
Ультрадыбыстық ваннаның өздігінен 50-60°С температураға дейін қыздырылуы сұйықтардың тұтқырлығы мен беттік керілуін төмендету арқылы процесті күшейтеді. Спирт ортасында бұл органикалық қабықшалардың ерігіштігін қосымша арттырып, кавитацияны қарқындатады, ал сода ерітіндісінде суда еритін ластанулардың еруі күшейгенімен, әсер әлсіздеу байқалады. Нәтижесінде спирт ортасы бөлшектердің анағұрлым терең және біркелкі тазалануын қамтамасыз етеді.

Сонымен бірге, тазалау ортасы ретінде этил спиртінің қымбаттығын атап өткен жөн, бұл болашақта басқа баламаларды іздеуге итермелейді.

Тазаланған отқабыршақ шарлы диірменде ұнтақталып, ұяшық өлшемі 250 мкм болатын електен өткізілді және одан әрі сутегі ағынында 1050°С температурада 60 минут бойы тотықсыздандырылды. Тотықсыздандырылған отқабыршақ ПЦД механикалық өңдеуден өткізілді. Одан кейін дәл осындай режимде ПЦД-де өңделген тотықсыздандырылған отқабыршақты өздігінен ұсақталатын ЖКФХ ұнтағымен ПЦД-де араластыру жүргізілді.

1-суретте ПЦД-де өңдеуден кейін алынған тотықсыздандырылған ұнтақ бөлшектерінің және оның ЖКФХ ұнтағымен механикалық өңделген қоспасының РЭМ көмегімен алынған бейнелері көрсетілген.

1-суретте келтірілген бейнелер кері шашыраған электрондарды тіркеу режимін қолдану арқылы алынған, бұл бейнелердегі контраст бойынша химиялық құрамды бағалауға мүмкіндік береді. 1-суреттен тотықсыздандырылған отқабыршақ бөлшектерінің де, оның ЖКФХ ұнтағымен қоспасының да біркелкілігі байқалады. Бұл зерттеліп отырған материалдардың жоғары тазалығын көрсетеді. Тотықсыздандырылған отқабыршақ бөлшектері негізінен пластинкалы морфологиямен сипатталады, бұл олардың жоғары пластикалығына байланысты. ЖКФХ бөлшектері төменірек пластикалығымен, жоғары қаттылығымен және морттылығымен сипатталады. Сондықтан өлшемі 5–10 мкм-ден кіші ұсақ бөлшектер ЖКФХ бөлшектері болуы мүмкін. Бұл болжамды нақтылау үшін



а ә

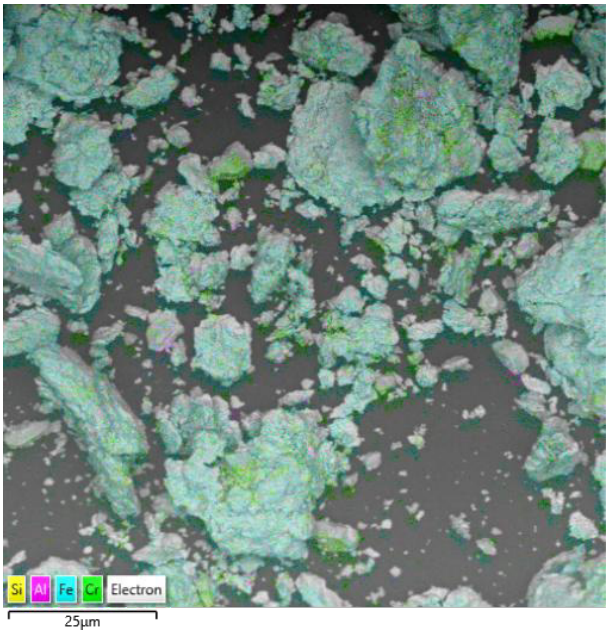
1-сурет – ПЦД-де өңделген тотықсыздандырылған отқабыршақ ұнтағының (а) және оның ЖКФХ ұнтағымен қоспасының (ә) РЭМ-бейнелері

элементтердің таралу картасы жасалды. Нәтижелер 2-суретте келтірілген.

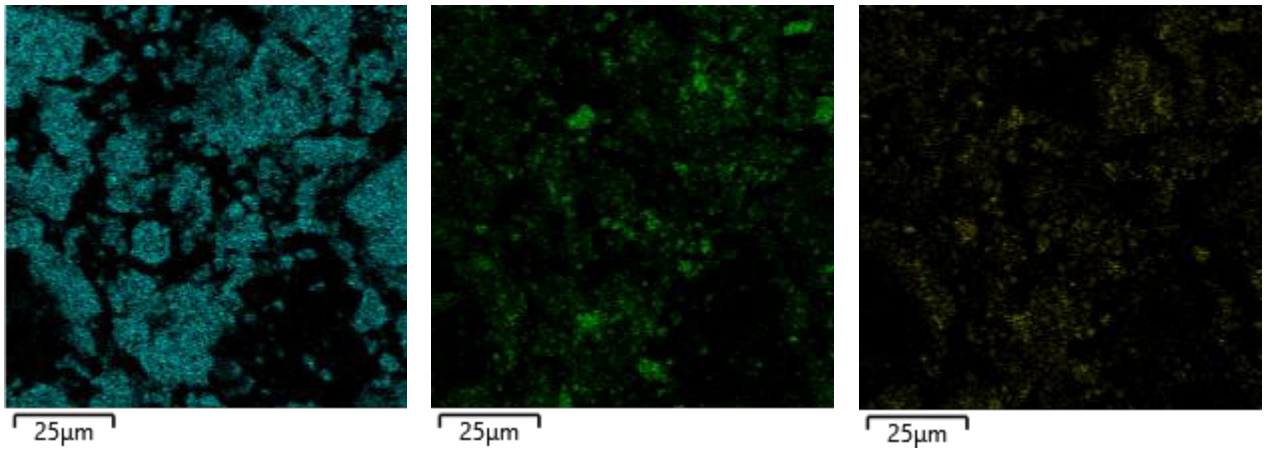
2-суреттен көрініп тұрғандай, ЖКФХ жекелеген бөлшектерінің сегрегациясыз хромның біркелкі таралуы байқалады. ЖКФХ-қа ілеспе элемент болып табылатын кремний де қоспа құрамында бар.

Легирлеуші элементтердің мұндай таралуы ПЦД-де жоғары энергиялы өңдеу барысында пайда болатын механикалық легирлеумен түсіндіріледі [5]. ЖКФХ-тың анағұрлым морт бөлшектері ұсақталып, тотықсыздандырылған темір ұнтағының беті бойынша біркелкі таралады, ал ұнтақтағыш денелермен соқтығысулар оксидтік қабықшалардың жойылуын, ақаулардың жиналуын және бөлшектердің активтенуін қамтамасыз етеді. Нәтижесінде таза, реакцияға қабілетті беттер қалыптасады және кристалдық тордың ақаулылығы артады, бұл диффузияның энергетикалық тосқауылын төмендетіп, кейінгі жентектелу кезінде хром мен кремнийдің темір матрицасына тиімді енуін жақсартады. Осылайша, механикалық легирлеу легирлеуші элементтердің біркелкі таралуын ғана емес, сонымен қатар қоспаның активтелген күйін қалыптастырып, жеделдетілген күйдіруге және анағұрлым біртекті микроструктураның түзілуіне ықпал етеді.

Ұнтақ қоспасының нәтижесіндегі құрамы, %: 15,00 Cr; 1,40 C; 0,24 Mn; 0,40 Si; 0,060 P; 0,012 S және қалғаны Fe. Бұл ұнтақ қоспасының құрамы коррозияға төзімді болаттардың 65Х13 және 95Х18 маркаларының құрамына жақын, алайда көміртек мөлшері



а



ә б в

2-сурет – Механикалық өңделген тотықсыздандырылған отқабыршақ пен ЖКФХ ұнтағы қоспасындағы элементтердің таралу картасы (а): Fe (ә), Cr (б) және Si (в)

сәл жоғары (көрсетілген маркаларда C, %: 0,6-0,70 және 0,90-1,00) және фосфор мөлшері де салыстырмалы түрде жоғары (көрсетілген маркаларда P, %: 0,30-дан аспауы тиіс). Соған қарамастан, алынған нәтиже әдістің принциптік тұрғыдан іске асырылу мүмкіндігін дәлелдейді, ал әрі қарай сәйкес феррохром маркасын таңдау және/немесе көміртексіздендіру әдістерін қолдану қажетті құрамдағы ұнтақ қоспасын алуға мүмкіндік береді.

Қарастырылған коррозияға төзімді болат ұнтақ қоспасын алу әдісінің күтілетін әсерін эксперименттік тұрғыдан дәлелдеу келесі зерттеулерде жоспарлануда. Атап айтқанда, ЖКФХ құрамында көміртек мөлшері жоғары болғандықтан, коррозияға төзімді болаттарға қойылатын талаптарға сәйкес келмейтін ұнтақ қоспасын көміртексіздендіру мүмкіндігі зерттелетін болады. Мұндай көміртексіздендіруді сутегі ортасында немесе вакуумда жүргізуге болады, мұнда бөлшектердің дисперсті күйі мен олардың жоғары реакциялық қабілеті бұл процесті қайтадан тиімді етеді.

Қорытынды

1. Этил спиртінде отқабыршақты ультрадыбыстық тазалау тиімді әдіс екені анықталды, бұл Na, Si және Ca қоспаларының мөлшерін 2-5 есе төмендетіп, тотықсыздандырылған темір ұнтағының тазалығын арттырады.

2. Ультрадыбыстық тазалау, сутегімен тотықсыздандыру және жоғары энергиялы механикалық өңдеуді үйлестіру жоғары дисперсті және жоғары реакциялық қабілетті темір ұнтағын алуды қамтамасыз ететіні көрсетілді.

3. Тотықсыздандырылған темір ұнтағы мен ФХ800А феррохромының қоспасын механикалық өңдеу механикалық легирлеуге және хром мен кремнийдің бөлшектер көлемі бойынша біркелкі таралуына алып келеді, бұл РЭМ және элементтердің таралу картасын тұрғызу әдістерімен расталды.

4. Алынған қоспаның химиялық құрамы (15% Cr, 1,40% C, 0,40% Si, 0,24% Mn, қалғаны Fe) 65Х13 және 95Х18 маркалы коррозияға төзімді болаттардың құрамына жақын, алайда көміртек мөлшерін одан әрі төмендетуді талап етеді.

5. ЖКФХ қолдану элементарлы хромға перспективалы әрі экономикалық тұрғыдан негізделген балама ретінде расталды; алынған қоспа коррозияға төзімді болатты кейіннен алу үшін жарамды, ал келесі зерттеулер көміртексіздендіру әдістерін әзірлеуге және жентектелген үлгілердің қасиеттерін бағалауға бағытталуы тиіс.

Қаржыландыру туралы ақпарат: Аталған зерттеулер Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің бағдарламалық-нысаналы қаржыландыруы аясында жүргізілді (BR24992758).

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Rafael A.M., Celso A.B. High-Speed Steels Produced by Conventional Casting, Spray Forming and Powder Metallurgy // Materials Science Forum. – 2025. Vol. 498-499. – Pp. 244-250. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.498-499.244
2. Roland WARZEL III. High Performance Stainless Steel Mixes // Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy. – 2016. Vol. 63. – Pp. 591-594. https://doi.org/10.2497/jjspm.63.591
3. Zhaoqiang Tan, Yong Liu, Xiaolin Huang and Songlin Li. Fatigue Behavior of Alloy Steels Sintered from Pre-Alloyed and Diffusion-Bonding Alloyed Powders // Metals. – 2022. 12 (4), 659. – P. 12. https://doi.org/10.3390/met12040659
4. A.S. Akhmetov, Zh.V. Eremeeva. Study of the Process of Diffusion Alloying of Mixture for Powdered High Speed Steel // Inorganic Materials: Applied Research. – 2022. Vol. 13. – Pp. 138-140. https://doi.org/10.1134/S2075113322010038
5. Leong Kean Wei, Shayfull Zamree Abd Rahim, Mohd Mustafa Al Bakri Abdullah, Allice Tan Mun Yin, Mohd Fathullah Ghazali, Mohd Firdaus Omar, Ovidiu Nemes, Andrei Victor Sandu, Petrica Vizureanu and Abdellah El-hadj Abdellah. Producing Metal Powder from Machining Chips Using Ball Milling Process: A Review // Materials. – 2023, 16 (13), 4635. – P. 43. https://www.mdpi.com/1996-1944/16/13/4635

Изготовление порошковой смеси коррозионностойкой стали с использованием феррохрома

[1]АХМЕТОВ Аманкельды Серикбаевич, *PhD, старший научный сотрудник, aman1aotero@gmail.com,*
[2]*ТӨЛЕУҚАДЫР Руслан Төлеужанұлы, *магистр, научный сотрудник, rus.toleukadyr@gmail.com,*
[3]ЖУНУСОВ Аблай Каиртасович, *к.т.н., зав. кафедрой, zhunusov_ab@mail.ru,*
[4]АЯГАНОВА Жулдыз Темиржановна, *магистрант, ayaganova2003@list.ru,*
[2]МАХАМБЕТОВ Ерболат Нысаналыулы, *PhD, зав. лабораторией, makhambetovyerbolat@gmail.com,*
[1]ТОО «НИЦ QazMetals Engineering», ул. Муканова, 61/2, Караганда, Казахстан,
[2]Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, ул. Ермекова, 63, Караганда, Казахстан,
[3]НАО «Торайгыров университет», ул. Ломова, 64, Павлодар, Казахстан,
[4]Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Ленинский проспект, 4, Москва, Россия,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Исследована возможность получения порошковой смеси коррозионностойкой стали на основе восстановленного из прокатной окалины железного порошка с использованием дисперсного саморассыпающегося высокоуглеродистого феррохрома (ВУФХ) марки ФХ800А в качестве легирующей добавки. Исходную окалину очищали в ультразвуковой ванне в различных средах, и установили, что этиловый спирт обеспечивает более глубокое удаление загрязнений, по сравнению с водным содовым раствором, благодаря лучшему смачиванию, более активной кавитации и способности растворять органические примеси. После очистки окалину восстановили водородом и подвергнули механической обработке в планетарной центробежной мельнице (ПЦМ), аналогичная обработка проводилась для смеси восстановленного порошка и ВУФХ. Растровая электронная микроскопия (РЭМ) и картирование распределения элементов показали однородное распределение хрома и кремния в порошковой смеси, что свидетельствует о реализации механического легирования в процессе высокоэнергетического перемалывания. Представленные результаты демонстрируют перспективность применения ферросплавов в качестве доступной альтернативы элементарным порошкам при получении порошковых смесей коррозионностойких сталей.*

Ключевые слова: *ферросплав, хром, сталь, коррозионностойкая сталь, легирование, порошковая металлургия.*

Manufacturing a Powder Mixture of Corrosion-resistant Steel Using Ferrochrome

[1]AKHMETOV Amankeldy, *PhD, Senior Researcher, aman1aotero@gmail.com,*
[2]*TOLEUKADYR Ruslan, *Master's Degree, Researcher, rus.toleukadyr@gmail.com,*
[3]ZHUNUSOV Ablai, *Cand. of Tech. Sc., Head of Department, zhunusov_ab@mail.ru,*
[4]AYAGANOVA Zhuldyz, *Master's Student, ayaganova2003@list.ru,*
[2]MAKHAMBETOV Yerbolat, *PhD, Head of Laboratory, makhambetovyerbolat@gmail.com,*
[1]LLP «QazMetals Engineering Research Center», 61/2 Mukanov Street, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, 63 Ermekov Street, Karaganda, Kazakhstan,
[3]NCJSC «Toraighyrov University», 64 Lomov Street, Pavlodar, Kazakhstan,
[4]National University of Science and Technology «MISIS», 4 Leninsky Avenue, Moscow, Russia,
**corresponding author.*

Abstract. *The study investigated the possibility of producing a powder mixture of corrosion-resistant steel based on iron powder recovered from rolled scale, using dispersed self-deagglomerating high-carbon ferrochrome (HCFC) FeCr800A as an alloying additive. The initial scale was cleaned in an ultrasonic bath in various media, and it was found that ethanol provides deeper removal of contaminants compared to an aqueous soda solution due to better wetting,*

more active cavitation, and the ability to dissolve organic impurities. After cleaning, the scale was reduced with hydrogen and subjected to mechanical processing in a planetary centrifugal mill (PCM); a similar treatment was applied to the mixture of the reduced powder and HCFC. Scanning electron microscopy (SEM) and elemental mapping showed a uniform distribution of chromium and silicon in the powder mixture, indicating the implementation of mechanical alloying during high-energy milling. The results demonstrate the potential of using ferroalloys as an accessible alternative to elemental powders for producing powder mixtures of corrosion-resistant steels.

Keywords: *ferroalloy, chromium, steel, corrosion-resistant steel, alloying, powder metallurgy.*

REFERENCES

1. Rafael A.M., Celso A.B. High-Speed Steels Produced by Conventional Casting, Spray Forming and Powder Metallurgy // Materials Science Forum. – 2025. Vol. 498-499. – Pp. 244-250. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.498-499.244
2. Roland WARZEL III. High Performance Stainless Steel Mixes // Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy. – 2016. Vol. 63. – Pp. 591-594. https://doi.org/10.2497/jjspm.63.591
3. Zhaoqiang Tan, Yong Liu, Xiaolin Huang and Songlin Li. Fatigue Behavior of Alloy Steels Sintered from Pre-Alloyed and Diffusion-Bonding Alloyed Powders // Metals. – 2022. 12 (4), 659. – P. 12. https://doi.org/10.3390/met12040659
4. A.S. Akhmetov, Zh.V. Eremeeva. Study of the Process of Diffusion Alloying of Mixture for Powdered High Speed Steel // Inorganic Materials: Applied Research. – 2022. Vol. 13. – Pp. 138-140. https://doi.org/10.1134/S2075113322010038
5. Leong Kean Wei, Shayfull Zamree Abd Rahim, Mohd Mustafa Al Bakri Abdullah, Allice Tan Mun Yin, Mohd Fathullah Ghazali, Mohd Firdaus Omar, Ovidiu Nemes, Andrei Victor Sandu, Petrica Vizureanu and Abdellah El-hadj Abdellah. Producing Metal Powder from Machining Chips Using Ball Milling Process: A Review // Materials. – 2023, 16 (13), 4635. – P. 43. https://www.mdpi.com/1996-1944/16/13/4635

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_24 УДК 669.054.83

Пыль от газоочистки производства феррохрома и пути ее утилизации

[1]**ЖУМАШЕВ Калкаман,** *д.т.н., зав. лабораторией, innovaciya_zh@mail.ru,*
[1]**БАЙСАНОВ Алибек Сайлауович,** *к.т.н., зав. лабораторией, alibekbaisanov.ab@gmail.com,*
[1]***КАТРЕНОВ Бауыржан Боранбаевич,** *к.т.н., старший научный сотрудник, baur-8-3@mail.ru,*
[2]**ЖУМАГАЛИЕВ Ерлан Уланович,** *к.т.н., зав. кафедрой,*
[2]**ШАБАНОВ Ербол Жақсылықұлы,** *PhD, профессор,*
[1]Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, ул. Ермекова, 63, Караганда, Казахстан,
[2]НАО «Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова», пр. А. Молдагуловой, 34, Актобе, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Статья посвящена переработке хромсодержащей пыли, уловленной мокрым методом из отходящих газов руднотермической печи при выплавке углеродистого феррохрома. Пыль характеризуется низким содержанием оксида хрома (III) и повышенным содержанием оксида магния. Как известно, высокое содержание оксида магния негативно влияет на свойства шлака при выплавке феррохрома. В этой связи оптимальным способом переработки пыли является получение хромового концентрата путем удаления из нее магния и других металлов. Существующие способы переработки хромсодержащих отходов показывают возможность применения для этой цели недорогого реагента – серной кислоты. Целью работы авторов статьи являлась проверка возможности применения серной кислоты для переработки пыли. Проведенные авторами лабораторные эксперименты также показали возможность получения хромового концентрата из пыли с применением в качестве реагента серной кислоты.*

Ключевые слова: *высокоуглеродистый феррохром, хромсодержащая пыль, сульфатизация, выщелачивание, хромовый концентрат.*

Высокоуглеродистый феррохром применяется при выплавке коррозионно-стойких и жаропрочных сталей, куда хром входит в качестве легирующего элемента. Назначение сталей определяет необходимую концентрацию хрома в них от десятых долей до нескольких десятков процентов. Хромовые минералы в рудах Донского месторождения (промышленный центр г. Хромтау) относятся к группе хромшпинелидов, которые могут быть выражены общей формулой (Mg, Fe) (Cr, Al, Fe^{3+})$_2O_4$.

Процесс выплавки феррохрома из хромшпинелидов суммарно описывается реакцией:

$$(Mg,Fe)(Cr,AI,Fe^{3+})_2O_4 + C + \\ +SiO_2 \rightarrow [Cr-Fe-C] + \\ +(MgO-AI_2O_3-SiO_2) + CO \quad (1)$$

Выделяющиеся по реакции (1) отходящие газы в зависимости от типа используемой печи содержат различное количество хромсодержащей пыли. При выплавке данного сплава в закрытой печи из-за повышенного давления под сводом запыленность отходящего газа меньше и составляет 15-20 г/м^3. Удельный выход пыли на 1 т феррохрома для закрытой печи составляет 50-150 кг/т, а для открытой печи – 25-75 кг/т [1]. Улавливание хромсодержащей пыли из пылегазовой смеси осуществляется мокрым методом, при котором твердые частицы выводятся с водой в виде суспензии. Объем улавливаемой пыли составляет примерно 47 тыс. т в год в зависимости от производительности печей постоянного тока.

Содержание оксида хрома Cr_2O_3 в уловленной пыли выше, чем в других хромсодержащих техногенных отходах, и достигает 30%. Чуть ниже содержание оксида хрома лишь в шламовых хвостах обогащения хромовой руды Донского ГОКа и составляет 27,04% [2]. Использование уловлен-

ной пыли в качестве добавки в шихту при выплавке феррохрома является наиболее выгодным способом ее утилизации. Однако повышенное содержание оксида магния в пыли сдерживает реализацию этого способа на практике.

Поскольку выплавка высокоуглеродистого феррохрома является шлаковым процессом, то получение оптимального по составу шлака является необходимым условием успешного проведения процесса выплавки. Шлаковый режим процесса выплавки феррохрома в руднотермических печах достаточно полно описывается системой MgO-Al_2O_3-SiO_2, т.к. в составе конечных шлаков сумма этих трех оксидов составляет более 90% [3]. С применением тройной диаграммы состояния MgO-Al_2O_3-SiO_2 (рисунок 1) можно определять температуру плавления шлака в зависимости от соотношения этих оксидов [4].

Феррохром с содержанием хрома 65-70% и углерода 7-8,5% имеет температуру плавления 1550-1570°С, поэтому температура плавления шлака должна быть 1650-1670°С. Для обеспечения такой температуры плавления и прогрева шлака, обеспечивающих его нормальную жидкотекучесть и полный выход из печи, состав шлака должен соответствовать составу, приведенному в таблице 1 и области шпинели на тройной диаграмме состояния MgO-Al_2O_3-SiO_2 (рисунок 1) [4].

Таблица 1 – Химический состав конечного шлака выплавки углеродистого феррохрома, %

SiO_2	MgO	Al_2O_3	Cr_2O_3
32-35	37-40	22-27	3-5

Повышенное содержание MgO в рудах Донского ГОКа обусловливает высокую температуру размягчения (более 1700°С) рудообразующего минерала – хромшпинелида [5] и высокую температуру первых порций образующегося шлака (около 1760°С) [6]. Другими словами, повышенное содержание MgO в рудах привело к переходу состава печных шлаков из области магнезиальной шпинели $MgO \times Al_2O_3$, соответствующей оптимальному составу, в область тугоплавкого форстерита $2MgO \times SiO_2$ (1867°С) [3], что приводит к росту температуры плавления и увеличивает вязкость образующегося шлака.

Учитывая количество улавливаемой пыли и высокое содержание в ней оксида хрома (III), ее можно рассматривать как ценное техногенное сырье. С учетом спроса

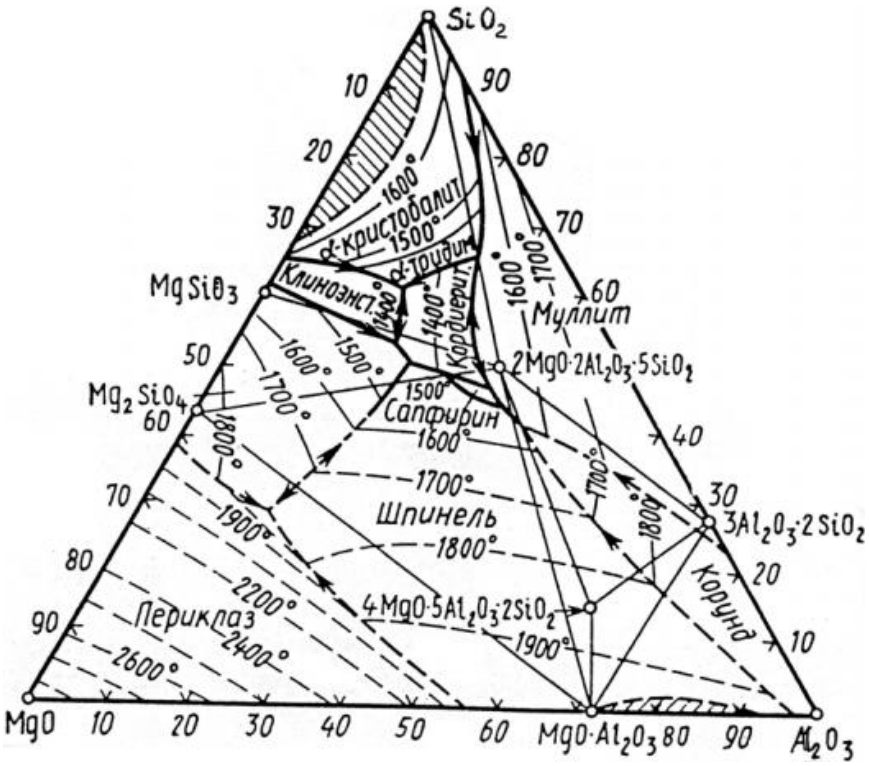


Рисунок 1 – Тройная диаграмма состояния MgO-Al_2O_3-SiO_2

на хромовый концентрат разработка способа переработки уловленной пыли является одной из приоритетных задач в сфере обращения с текущими отходами ферросплавного производства. Способ переработки пыли должен предусматривать в первую очередь удаление оксида магния MgO из пыли, и может быть реализован по схеме, включающей в себя как минимум два этапа (рисунок 2). На первом этапе из пыли требуется выделить хромсодержащий и магнийсодержащий промежуточные продукты. На втором этапе хромсодержащий промежуточный продукт необходимо переработать с получением хромового концентрата, а магнийсодержащий промежуточный продукт – с получением магниевого товарного продукта. В зависимости от выбора методов очистки промежуточного продукта в качестве товарного магниевого продукта может выступить жженая или белая магнезия, кристаллический сульфат или хлорид магния, основной карбонат магния, металлический магний и т.д.

Хромсодержащая пыль от газоочистки представляет собой не только смесь мелких частиц исходного сырья (руда и кокс), но и содержит в себе частицы конечного шлака, образующиеся в процессе взаимодействия кремнеземистого флюса с хромшпинелями ($MgO \times Cr_2O_3$ и $FeO \times Cr_2O_3$), содержащимися в рудной части шихты.

По минералогическому составу пыль отличается от других хромсодержащих отходов, содержащих соединения хрома, железа и магния. Хром и магний в пыли содержатся в таких соединениях, как магнезиохромит (пикрохромит) $MgO \times Cr_2O_3$, магнезиоферрит $MgO \times Fe_2O_3$, магнезиальная шпинель $MgO \times Al_2O_3$, хромит $FeO \times Cr_2O_3$, серпентин $3MgO \times 2SiO_2 \times 2H_2O$ клиноэнстатит (метасиликат магния) $MgO \times SiO_2$, форстерит (ортосиликат магния) $2MgO \times SiO_2$, кордиерит $2MgO \times 2Al_2O_3 \times 5SiO_2$.

Обзор способов переработки шламов обогащения хромитовых руд и хромсодержащей пыли отходящих газов показывает возможность их переработки с применением относительно недорогого реагента – серной кислоты, производимой из отходящих газов предприятий цветной металлургии.

Так, в работе [7] серная кислота применяется для переработки шламов обогащения Донского ГОКа. Шлам, содержащий хром, магний, цветные металлы и другие полезные компоненты, подвергается сульфатизирующему обжигу совместно с восстановителем (углем). При этом решение основной задачи операции обжига сводилось к переводу в водорастворимые соединения магния, цветных и редкоземельных металлов с отделением хрома и его соединений в нерастворимый остаток – кек. Показана возможность разделения хрома от других металлов в виде нерастворимого кека при низких температурных интервалах обжига – 723-873 К. Установлено, что энергия Гиббса реакции взаимодействия сульфата хрома с восстановителем ~ в 2,5 раза превышает значения энергии Гиббса реакций взаимодействия с восстановителем сульфатов остальных металлов.

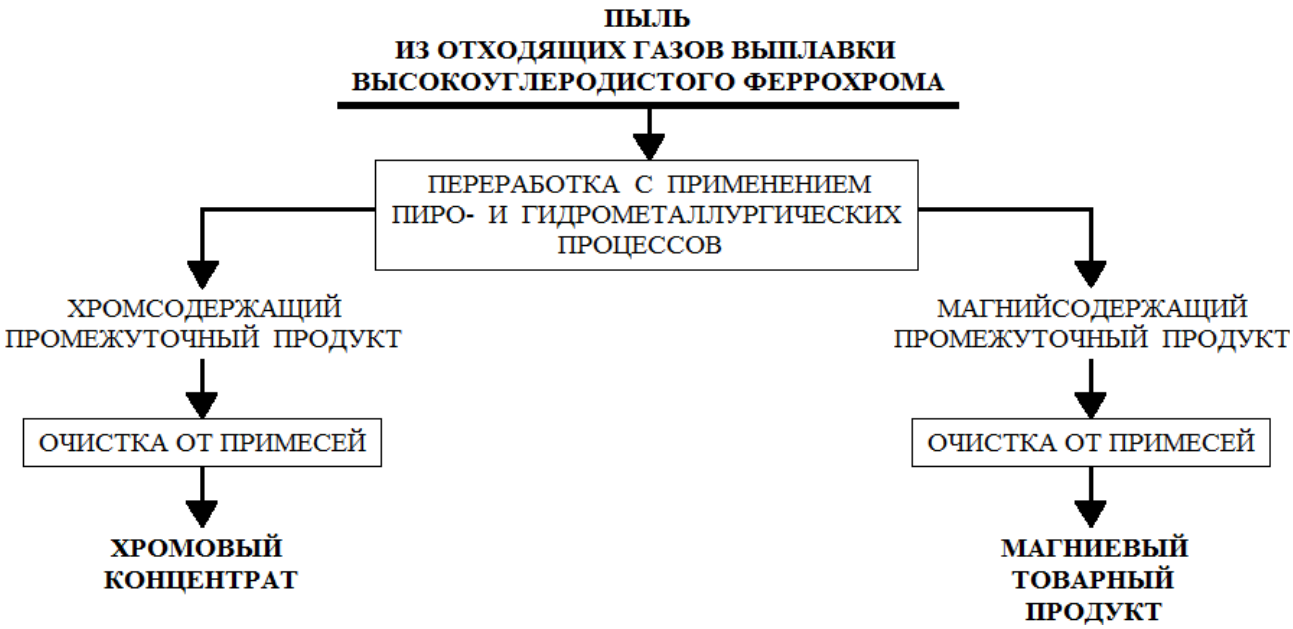


Рисунок 2 – Общая схема переработки хромсодержащей пыли, уловленной мокрым методом из отходящих газов при выплавке высокоуглеродистого феррохрома

При выбранных температурных интервалах взаимодействие сульфатов магния, железа и цветных металлов с восстановителем невозможно, пока в системе присутствует сульфат хрома. В ходе взаимодействия сульфата хрома с восстановителем образуется оксид хрома (III), который при последующем водном выщелачивании выпадает в осадок в виде нерастворимого кека, в то время как сульфаты остальных металлов концентрируются в растворе.

В статье [8] показана перспективность применения серной кислоты для переработки хромсодержащей пыли отходящих газов, содержащей 17,57% оксида хрома (III), с получением хромового концентрата. Сернокислотное выщелачивание пыли при температуре 68°С позволило за счет перехода магния в раствор получить кек, содержащий 47% оксида хрома (III). Такой кек может быть использован в производстве хромсодержащих огнеупоров, а также при выплавке феррохрома как заменитель хромового концентрата.

Зарубежные исследования подтверждают перспективность применения серной кислоты для переработки хромсодержащих отходов. Так, в работе [9] приведён анализ современных технологий утилизации хромсодержащих пылей и шлаков, включая гидрометаллургические методы, основанные на сернокислотном выщелачивании, и показана их эффективность для комплексного извлечения ценных компонентов.

Учитывая результаты представленных исследований по переработке хромсодержащих отходов в работах [7-9], цель работы авторов статьи состояла в проверке возможности применения серной кислоты для переработки хромсодержащей пыли с получением хромового концентрата. Для этого авторами были проведены эксперименты в лабораторных условиях по двум направлениям. Первое направление предусматривало использование концентрированной кислоты, а второе – использование разбавленных растворов серной кислоты.

Материалы, методы исследования и анализа. В качестве исходного материала для экспериментов была использована хромсодержащая пыль, уловленная мокрым методом из отходящих газов, химический состав которой представлен в таблице 2. Масса пыли, отбираемой для каждого опыта, составляла 20 г.

По первому направлению пыль, добавив в нее концентрированную серную кислоту, подвергали выдержке при различных температурах в электрокамерной печи ЭКПС-10 с целью сульфатизации содержащихся в ней металлов. Полученный спек затем выщелачивали в воде с целью растворения полученных сульфатов металлов. Выщелачивание спека проводили при разных температурах и продолжительности процесса. Для выщелачивания использовались стеклянный стакан емкостью 300 мл и лабораторное перемешивающее устройство ER 10 со стеклянной мешалкой. Стакан с пульпой помещали в термостат U 10, позволяющий задавать необходимую температуру процесса. Мешалку помещали в пульпу, устанавливали выбранное число оборотов (60 об/мин) и фиксировали начало эксперимента.

В проведенных по первому направлению экспериментах варьировались значения таких параметров, как количество добавленной серной кислоты в пыль (5,8 мл; 6,0 мл; 8,5 мл), температура выдержки в печи (150°С; 300°С; 340°С; 600°С; 700°С), продолжительность выдержки в печи (30 мин; 60 мин; 90 мин), продолжительность выщелачивания спека в воде (30 мин; 60 мин), температура выщелачивания (20°С; 70°С). Масса воды во всех опытах по выщелачиванию спека составляла 60 г, т.е. отношение массы жидкого реагента к массе твердого материала, т.е. пыли (соотношение Ж:Т) во всех опытах составляло 3:1. После выщелачивания пульпу фильтровали на вакуум-фильтре, затем нерастворившийся при выщелачивании осадок (кек) промывали водой, высушивали и анализировали на содержание оксидов Cr_2O_3 и MgO по стандартным методикам.

По второму направлению проводилось выщелачивание пыли в растворах серной кислоты разной концентрации при разных температурах и продолжительности процесса. Здесь варьировались значения таких параметров эксперимента, как концентрация кислоты в растворе (14%; 17%), темпера-

Таблица 2 – Химический состав хромсодержащей пыли, уловленной мокрым методом из отходящих газов, %

Cr_2O_3	Fe	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	S	P
34,91	7,50	14,91	12,13	1,84	21,90	0,18	0,005

тура выщелачивания (70°С; 95°С), продолжительность выщелачивания (30 мин; 120 мин) и соотношение Ж:Т (3:1; 5:1). Выщелачивание пыли и фильтрацию пульпы проводили на тех же установках, что и водное выщелачивание спека.

Результаты исследования. Эксперименты показали перспективность применения серной кислоты в качестве реагента для переработки хромсодержащей пыли. При сернокислотной обработке часть оксида магния, содержащегося в пыли, переходила в раствор, что приводило к увеличению содержания оксида хрома в нерастворившемся осадке.

По первому направлению получение кека с наименьшим содержанием оксида магния было достигнуто при следующем режиме переработки пыли. В пыль массой 20 г добавили 8,5 мл концентрированной серной кислоты. Обработанную кислотой пыль выдерживали в печи при температуре 150°С в течение 60 мин. Затем полученный спек выщелачивали водой (t=70°С, Ж:Т=3:1). Продолжительность выщелачивания составила 60 мин. После фильтрации пульпы был получен кек весом 15,61 г следующего химического состава, %: 40,56 Cr_2O_3; 7,2 Fe; 16,38 MgO. Кек после выщелачивания представляет собой хромсодержащий продукт, который можно использовать в качестве добавки в шихту для выплавки углеродистого феррохрома.

По второму направлению было получено два вида кека, т.к. возникла необходимость отстаивания пульпы от выщелачивания пыли. Крупнодисперсный и мелкодисперсный осадок был получен при следующем режиме переработки пыли. Пыль массой 20 г выщелачивали в 14%-ном растворе серной кислоты (t=70°С, Ж:Т=5:1). Продолжительность выщелачивания составила 120 мин. Так как пульпу после выщелачивания практически невозможно было отфильтровать, она отстаивалась в течение суток с осаждением крупнодисперсного осадка. Затем пульпу с медленно оседающим мелкодисперсным осадком отделили от отстоявшегося крупнодисперсного осадка отмучиванием, т.е. путем сливания пульпы в другую емкость. Крупнодисперсный осадок массой 9,72 г имеет следующий химический состав, %: 44,82 Cr_2O_3; 7,89 Fe; 13,05 MgO. С целью выделения мелкодисперсного осадка пульпа отстаивалась в течение пяти суток. После полного осаждения мелких частиц осветленный раствор отделялся от осадка декантацией, т.е. сливом жидкости в другую емкость. Высушенный мелкодисперсный осадок массой 3,47 г имеет следующий химический состав, %: 64,30 Cr_2O_3; 5,78 Fe; 17,64 MgO; 9,18 SiO_2. Крупнодисперсный осадок можно использовать в качестве добавки в шихту для выплавки углеродистого феррохрома, а мелкодисперсный осадок представляет собой хромовый концентрат. При смешивании крупно- и мелкодисперсного осадка получается продукт с содержанием Cr_2O_3 около 50%, что соответствует параметрам хромового концентрата. Осветленный раствор, содержащий 11,89 г/дм^3 MgO, может быть переработан известными способами с получением магниевого товарного продукта.

Выводы. Накопленные на полигонах хромсодержащие промышленные отходы оказывают негативное влияние на окружающую среду. Такие отходы, как шламы обогащения хромитовых руд и пыль от мокрой газоочистки производства феррохрома характеризуются повышенным содержанием хрома. С учетом спроса на хромовые концентраты указанные отходы могут рассматриваться как вторичный сырьевой ресурс. С точки зрения охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов оптимальным вариантом утилизации хромсодержащих отходов является их переработка, предусматривающая получение хромового концентрата и попутное извлечение ценных сопутствующих компонентов. Анализ литературных данных показывает возможность получения хромового концентрата из указанных отходов с применением в качестве реагента серной кислоты, получаемой из отходящих газов предприятий цветной металлургии. С целью проверки возможности применения серной кислоты в качестве реагента для получения хромового концентрата из хромсодержащей пыли, уловленной мокрым методом из отходящих газов руднотермической печи при выплавке углеродистого феррохрома, авторами статьи были проведены лабораторные эксперименты по двум способам переработки: сульфатизация металлов посредством выдержки в печи при различных температурах и сернокислотное выщелачивание. Результаты экспериментов показали возможность получения хромсодержащего продукта (40,56% Cr_2O_3) по первому способу и хромового концентрата (50% Cr_2O_3) по второму способу. Таким образом, в лабораторных условиях установлена возможность применения относительно недорогого реагента – серной кислоты – для переработки хромсодержащей пыли, уловленной мокрым методом из отходящих газов руднотермической печи при выплавке углеродистого феррохрома, на хромовый концентрат.

Данное исследование профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан

в рамках программно-целевого финансирования научных исследований на 2024-2026 гг. по программе BR 24992882 «Разработка новых технологий по переработке техногенных отходов с улучшением экологической обстановки в регионе».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазаревский П.П., Романенко Ю.Е. Получение хромового концентрата химического обогащения путем переработки пыли производства углеродистого феррохрома // Инновации в материаловедении и металлургии: Материалы IV Междунар. интерактивной науч.-практ. конф. – Екатеринбург, 2015. – С. 16-20.
2. Омарова С.А., Гладышев С.В., Жолдасбай Е.Е., Досмухамедов Н.К. Формы нахождения Cr, Fe, цветных и редкоземельных металлов в хромитсодержащих шламах обогащения // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 6. – С. 15-22.
3. Акбердин А.А., Ким А.С., Конуров У., Сарекенов К.З., Сулейменов А.Б., Султангазиев Р.И. Влияние оксидов бора и марганца на фазовый состав шлаков производства углеродистого феррохрома // АБИШЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2011 «Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии»: Материалы междунар. научн.-практ. конф. (Караганда, 22-23 июня 2011). – Караганды: Карагандинская полиграфия, 2011. – С. 101-102.
4. Воскобойников В.Г. Общая металлургия. М.: Академкнига, 2005. 768 с.
5. Абдулабеков Е.Э., Байсанов С.О., Избембетов Д.Д. Перспективы подготовки хромовых руд к металлургическому переделу // Комплексная переработка минерального сырья: Мат. межд. науч.-прак. конф., посвященной 50-летию Химико-металлургического института им. Ж. Абишева (Караганда, 25-26 сентября 2008). Караганда: Экожан, 2008. – С. 107-111.
6. Заякин О.В. Особенности технологии получения хромсодержащих ферросплавов из различного хроморудного сырья // Химия и металлургия комплексной переработки минерального сырья: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Караганда, 25-26 июня 2015). Алматы: Типография ИП Серикбаева А.М., 2015. С. 252-257.
7. Досмухамедов Н.К., Жолдасбай Е.Е., Омарова С.А. Термодинамика сульфатизирующего обжига хромитсодержащего шлама в присутствии восстановителя // Вестник КазНИТУ. – 2019. – № 3. – С. 693-699.
8. Козловских Е.Ю., Доронин А.В., Богомолова А.Л., Земляной К.Г. Гидрометаллургическая переработка отходов с мокрой газоочистки ферросплавных заводов // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием (Екатеринбург, 16-19 декабря 2014 г.): в 2-х томах. – Екатеринбург: УрФУ, 2015 – Т. 2 – С. 53-56.
9. Xu, J., Liu, M., Ma, G., Zheng, D., Zhang, X., Hou, Y. Valuable Recovery Technology and Resource Utilization of Chromium-Containing Metallurgical Dust and Slag: A Review // Metals. – 2023. – Vol. 13, № 10. – Article 1768.

Феррохром өндірісіндегі газ тазалауынан шығарылған шаңы және оны қайта қолдану жолдары

*[1]**ЖҰМАШЕВ Қалқаман,** т.ғ.д., зертхана меңгерушісі, innovaciya_zh@mail.ru,*
*[1]**БАЙСАНОВ Әлібек Сайлаубайұлы,** т.ғ.к., зертхана меңгерушісі, alibekbaisanov.ab@gmail.com,*
*[1]***ҚАТРЕНОВ Бауыржан Боранбайұлы,** т.ғ.к., аға ғылыми қызметкер, baur-8-3@mail.ru,*
*[2]**ЖУМАГАЛИЕВ Ерлан Уланұлы,** т.ғ.к., кафедра меңгерушісі,*
*[2]**ШАБАНОВ Ербол Жақсылықұлы,** PhD, профессор,*
[1]Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Ермеков көшесі, 63, Қарағанды, Қазақстан,
[2]«Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті» КеАҚ, Ә. Молдағұлова даңғылы, 34, Ақтөбе, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Мақала руднотермиялық пешінде көміртекті феррохромды балқыту кезінде шығатын газдарынан ылғалды әдіспен ұсталған құрамында хром бар шаңды қайта өңдеуге арналған. Осы шаң хром оксидінің (III) мөлшері төмен болуымен және магний оксидінің мөлшері жоғары болуымен сипатталады. Феррохромды балқыту кезінде магний оксидінің мөлшері жоғары болуынан құрылған қождың қасиеттеріне теріс әсер ететіні белгілі. Осыған байланысты шаңды қайта өңдеудің оңтайлы тәсілі одан магний мен басқа да металдарды алып тастау арқылы хром концентратын алу болып табылады. Құрамында хром бар қалдықтарды қайта өңдеудің қолданыстағы тәсілдері осы мақсат үшін арзан бағалы реагентті – күкірт қышқылын қолдану мүмкіндігін көрсетеді. Мақала авторлары жұмысының мақсаты шаңды қайта өңдеу үшін күкірт қышқылын қолдану мүмкіндігін тексеру болып табылады. Мақаланың авторлары күкірт қышқылын реагент ретінде қолдануымен жүргізген зертханалық эксперименттер шаңнан хром концентратын алу мүмкіндігін тура көрсетті.*

***Кілт сөздер:** жоғары көміртекті феррохром, құрамында хром бар шаң, сульфаттау, шаймалау, хром концентраты.*

Dust from Gas Cleaning of Ferrochrome Production and Its Disposal Ways

*[1]**ZHUMASHEV Kalkaman,** Dr. of Tech. Sc., Head of Laboratory, innovaciya_zh@mail.ru,*
*[1]**BAISSANOV Alibek,** Cand. of Tech. Sc., Head of Laboratory, alibekbaisanov.ab@gmail.com,*
*[1]***KATRENOV Bauyrzhan,** Cand. of Tech. Sc., Senior Researcher, baur-8-3@mail.ru,*
*[2]**ZHUMAGALIEV Yerlan,** Cand. of Tech. Sc., Head of Department,*
*[2]**SHABANOV Yerbol,** PhD, Professor,*
[1]Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, 63 Ermekov Street, Karaganda, Kazakhstan,
[2]NPJSC «K. Zhubanov Aktobe Regional University», 34 A. Moldagulova Avenue, Aktobe, Kazakhstan,
**corresponding author.*

***Abstract.** The article is devoted to the processing of chromium-containing dust caught by the wet method from the exhaust gases of a ore-thermal furnace during the smelting of carbonaceous ferrochrome. Dust is characterized by low content of chromium (III) oxide and high content of magnesium oxide. As you know, a high content of magnesium oxide negatively affects the properties of slag in the smelting of ferrochrome. In this regard, the best way to process dust is to obtain a chromium concentrate by removing magnesium and other metals from it. Existing methods of processing chromium-containing waste show the possibility of using an inexpensive reagent for this purpose – sulfuric acid. The aim of the authors of the article was to test the possibility of using sulfuric acid for dust processing. The laboratory experiments conducted by the authors also showed the possibility of obtaining a chromium concentrate from dust using sulfuric acid as a reagent.*

***Keywords:** high-carbon ferrochrome, chromium-containing dust, sulfatization, leaching, chromium concentrate.*

REFERENCES

1. Lazarevskij P.P., Romanenko Yu.E. Poluchenie hromovogo koncentrata himicheskogo obogashheniya putem pererabotki py`li proizvodstva uglerodistogo ferrohroma // Innovacii v materialovedenii i metallurgii: Materialy` IV Mezhdunar. interaktivnoj nauch.-prakt. konf. – Ekaterinburg, 2015. – Pp. 16-20.
2. Omarova S.A., Glady`shev S.V., Zholdasbaj E.E., Dosmuhamedov N.K. Formy` nahozhdeniya Cr, Fe, czvetny`h i redkozemel`ny`h metallov v hromitsoderzhashhih shlamah obogashheniya // Fundamental`ny`e issledovaniya. – 2018. – № 6. – Pp. 15-22.
3. Akberdin A.A., Kim A.S., Konurov U., Sarekenov K.Z., Sulejmenov A.B., Sultangaziev R.I. Vliyanie oksidov bora i margancza na fazovy`j sostav shlakov proizvodstva uglerodistogo ferrohroma // ABIShEVSKIE ChTENIYa – 2011 «Geterogenny`e processy` v obogashhenii i metallurgii»: Materialy` mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. (Karaganda, 22-23 iyunya 2011). – Karagandy`: Karagandinskaya poligrafiya, 2011. – Pp. 101-102.
4. Voskobojnikov V.G. Obshhaya metallurgiya. Moscow: Akademkniga, 2005. 768 p.
5. Abdulabekov E.E`., Bajsanov S.O., Izbembetov D.D. Perspektivy` podgotovki hromovy`h rud k metallurgicheskomu peredelu // Kompleksnaya pererabotka mineral`nogo sy`r`ya: Mat. mezhd. nauch.-prak. konf., posvyashhennoj 50-letiyu Himiko-metallurgicheskogo instituta im. Zh. Abisheva (Karaganda, 25-26 sentyabrya 2008). Karaganda: E`kozhan, 2008. – Pp. 107-111.
6. Zayakin O.V. Osobennosti tehnologii polucheniya hromsoderzhashhih ferrosplavov iz razlichnogo hromorudnogo sy`r`ya // Himiya i metallurgiya kompleksnoj pererabotki mineral`nogo sy`r`ya: materialy` Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Karaganda, 25-26 iyunya 2015). Almaty`: tipografiya IP Serikbaeva A.M., 2015. Pp. 252-257.
7. Dosmuhamedov N.K., Zholdasbaj E.E., Omarova S.A. Termodinamika sul`fatiziruyushhego obzhiga hromitsoderzhashhego shlama v prisutstvii vosstanovitelya // Vestnik KazNITU. – 2019. – № 3. – Pp. 693-699.
8. Kozlovskih E.Yu., Doronin A.V., Bogomolova A.L., Zemlyanoj K.G. Gidrometallurgicheskaya pererabotka othodov s mokroj gazoochistki ferrosplavny`h zavodov // E`nergo- i resursosberezhenie. E`nergoobespechenie. Netradicionny`e i vozobnovlyaemy`e istochniki e`nergii: Materialy` Vserossijskoj nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molody`h ucheny`h s mezhdunar. uchastiem (Ekaterinburg, 16-19 dekabrya 2014 g.): v 2-x tomah. – Ekaterinburg: UrFU, 2015 – T. 2 – Pp. 53-56.
9. Xu, J., Liu, M., Ma, G., Zheng, D., Zhang, X., Hou, Y. Valuable Recovery Technology and Resource Utilization of Chromium-Containing Metallurgical Dust and Slag: A Review // Metals. – 2023. – Vol. 13, № 10. – Article 1768.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_32 UDC 004.896:681.518.3

A ROS 2 Based Modular Control Architecture Integrating Visual Servoing and Model Predictive Control for Robotic Marking

[1,2]**TANATOV Aibar,** *Doctoral Student, jazbalar@gmail.com,*
[1,3]**OMAROV Batyrkhan,** *PhD, Professor, batyahan@gmail.com,*
[1,4]***KUATOVA Moldir,** *PhD, Professor, kuatova.moldyr@gmail.com,*
[5]**MENDES Daniel Almeida Mateus,** *PhD, Adjunct Professor, mmendes@isr.uc.pt,*
[1]**ABEKOVA Aidana,** *Doctoral Student, Abekova310792@gmail.com,*
[1]Institute of Mechanics and Engineering named after academician U.A. Dzholdasbekov, 29 Shevchenko Street, Almaty, Kazakhstan,
[2]NPJSC «Al-Farabi Kazakh National University», 71 Al-Farabi Avenue, Almaty, Kazakhstan,
[3]JSC «International Information Technology University», 34/1 Manas Street, Almaty, Kazakhstan,
[4]LLP «International Engineering and Technological University», 89/21 Al-Farabi Avenue, Almaty, Kazakhstan,
[5]Polytechnic University of Coimbra, Rua da Misericórdia, Lagar dos Cortiços, S. Martinho do Bispo, Coimbra, Portugal,
**corresponding author.*

Abstract. *This paper presents a ROS 2-based intelligent control architecture for high-precision autonomous marking. The system integrates model predictive control (MPC) with dual-camera visual servoing to achieve submillimeter accuracy. A layered control stack combines global perception from an overhead camera with local correction from a tool-mounted camera, enabling accurate six-DoF pose estimation through fiducial markers and hand-eye calibration. Trajectory planning is formulated as a constrained optimization in CasADi, supporting real-time motion generation under workspace and actuator limits. Implemented on a 6-DOF collaborative arm with STM32-based RS-485 motor controllers, the system achieves final errors of 0.7 mm and closed-loop frequencies near 8 Hz. Results demonstrate the viability of combining vision and optimal control in a modular ROS 2 framework for industrial automation.*

Keywords: *ROS 2, visual servoing, model predictive control, robotic marking, dual-camera feedback, STM32 microcontroller, trajectory optimization, hand-eye calibration, real-time control, precision robotics.*

Introduction

Modern industrial environments require robots to perform precision tasks such as marking or engraving under variable, partially unstructured conditions – for example, engraving IDs on nameplates placed in random positions and orientations on a workbench. Traditional fixed automation lines typically rely on pre-defined trajectories and purely kinematic, position-controlled motion. Such architectures assume repeatable fixturing and accurate offline calibration; they work well for rigid, highly structured production settings, but they struggle when workpieces are displaced, rotated, or replaced by different geometries. Maintaining accuracy then often requires manual intervention, re-teaching trajectories, or conservative safety margins, which reduces throughput and flexibility [1-2].

Conventional industrial marking systems usually combine a single camera (if any) with simple position or velocity controllers running on proprietary hardware. Vision, when present, is often used only for coarse localization or post-process inspection rather than being deeply integrated into the control loop. As a result, these systems are sensitive to calibration errors and cannot easily adapt to changing plate positions, surface conditions, or lighting. Moreover, monolithic control architectures complicate upgrades: adding a new sensor or trying a different control algorithm often requires non-trivial re-engineering of the entire software stack [3].

Model Predictive Control (MPC) offers a principled way to address such variability. MPC plans optimal actions over a finite horizon while enforcing system constraints and predicting future behavior to adjust commands accordingly [1]. Prior studies have shown that MPC can handle multivariate constraints and improve manipulator trajectory smoothness and tracking under changing conditions, especially when dynamics or limits play a crucial role [2]. Visual servoing complements MPC by providing spatial feedback from cameras to adjust the robot pose in real time. Position-based visual servoing, which depends on accurate pose estimation, is robust for precision tasks such as alignment or marking [3]. A dual-camera setup – an overhead camera for global guidance and a tool-mounted (flange) camera for local refinement – further enhances robustness: the overhead view brings the robot near the target, while the flange camera supplies high-resolution corrections of small residual errors, enabling sub-millimeter precision [4].

Reinforcement learning (RL) can further improve adaptability by learning control policies from interaction. Hybrid MPC+RL approaches are promising for tasks that demand both precision and flexibility, especially when fiducial markers are absent or the environment changes significantly [8-9].

On the hardware side, embedded platforms such as STM32 microcontrollers enable low-latency motor control, while communication protocols like CAN and RS-485 provide real-time data exchange with actuators. The ROS 2 middleware adds a modular, distributed framework to orchestrate perception, planning, and control, using DDS for deterministic message passing [5-6]. Precise calibration methods – such as ArUco-based pose estimation, hand-eye calibration, and consistent transform trees across robot, camera, and workpiece frames – are critical to achieve sub-millimeter accuracy when closing the loop between vision and motion [7].

The aim of this work is to develop and experimentally validate a modular ROS 2-based control architecture for high-precision robotic marking that tightly integrates dual-camera visual servoing with model predictive control. The proposed architecture (i) combines global guidance from an overhead camera with local refinement from a flange-mounted camera, (ii) uses an MPC planner formulated in CasADi to generate smooth, constraint-aware trajectories in real time, and (iii) is implemented on a 6-DoF collaborative arm with STM32-based RS-485 motor controllers. Experiments on randomly placed plates demonstrate sub-millimeter positioning accuracy and a roughly seven-fold reduction in final positioning error compared to a single-camera baseline, while maintaining real-time closed-loop operation. Section 2 describes the system design and implementation, Section 3 reports experimental validation and quantitative comparison with a baseline controller, and Section 4 concludes with insights and directions for future work.

Methodology

The proposed control architecture is realized as a set of ROS 2 nodes for perception, planning, and control. Figure 1 outlines the control stack and the data flow from the vision sensors to the robot actuators [10]. An overhead camera observes the workpiece and estimates a coarse target pose in the workspace frame, guiding the robot toward the plate. As the robot approaches, a flange-mounted camera detects fiducial markers on the plate and computes a precise six-DoF pose, providing local refinement. This two-stage visual feedback – global then local – enables accurate target localization even in the presence of large initial errors [11]. An MPC-based planner transforms these pose estimates into optimized trajectories under joint and workspace constraints, while low-level motor controllers execute the resulting setpoints. ROS 2 ensures deterministic, real-time communication between all modules, making the architecture modular and extensible.

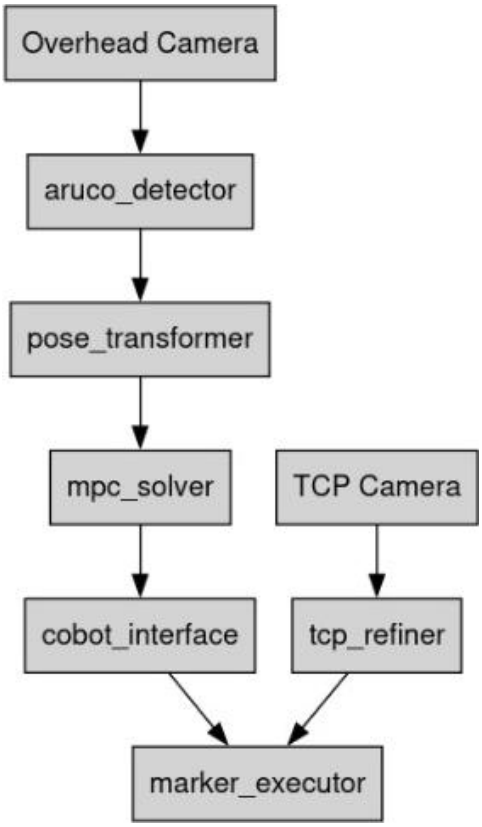


Figure 1 – ROS 2 node graph showing perception, planning, and control modules with data flow

A key element is the transform tree linking all coordinate frames: robot joints, cameras, workpiece, and tool. Static and dynamic transforms align the world, base, end-effector, cameras, and target marker. After hand-eye calibration, the flange camera-tool transform is fixed, even during motion. Using this calibrated tree, the overhead camera's coarse plate pose is mapped to the base frame for approach, while the flange camera's refined pose is mapped to the tool frame for final alignment [12][13]. The world-to-marker transform is estimated online from vision, updating the target pose with each camera feedback cycle.

Robot motion is governed by MPC to enforce both accuracy and smoothness. The planner, implemented in CasADi, formulates and solves a constrained optimization at a fixed control period. It minimizes a cost that penalizes tracking error and control effort subject to joint limits, workspace bounds, and collision-avoidance constraints [14][15]. The solution is a short-horizon sequence of joint setpoints, which a low-level controller tracks. Early point-to-point (PTP) motions at full speed caused high jerk and vibration, so we adopted time-parameterized trajectories: velocities ramp smoothly within MPC constraints and are updated every control cycle, typically with a reduced peak speed to respect limits while maintaining throughput. Compared to a 100% PTP script, this markedly reduces discontinuities, jerk, and acceleration spikes, improving engraving quality and reducing mechanical stress.

Results

We evaluated the system in robotic marking trials, focusing on positioning accuracy, trajectory smoothness, computational performance, convergence, and robustness. In each trial, the robot engraved text on randomly placed plates; each run used five plates with different placements, and multiple runs ensured statistical significance. Distances are in millimeters (mm) and times in seconds (s).We evaluated the system in robotic marking trials, focusing on positioning accuracy, trajectory smoothness, computational performance, convergence, and robustness. In each trial, the robot engraved text on a randomly placed plate; each run used five plates with different placements, and multiple runs ensured statistical significance. Distances are in millimeters (mm) and times in seconds (s).

To quantify the benefit of the proposed dual-camera + MPC architecture, we compared it against a baseline configuration that uses only the overhead camera for visual guidance while keeping the same ROS 2 infrastructure and low-level controllers. In the baseline, the flange-mounted camera and fine-alignment stage were disabled, so the robot executed the engraving directly after the coarse approach.

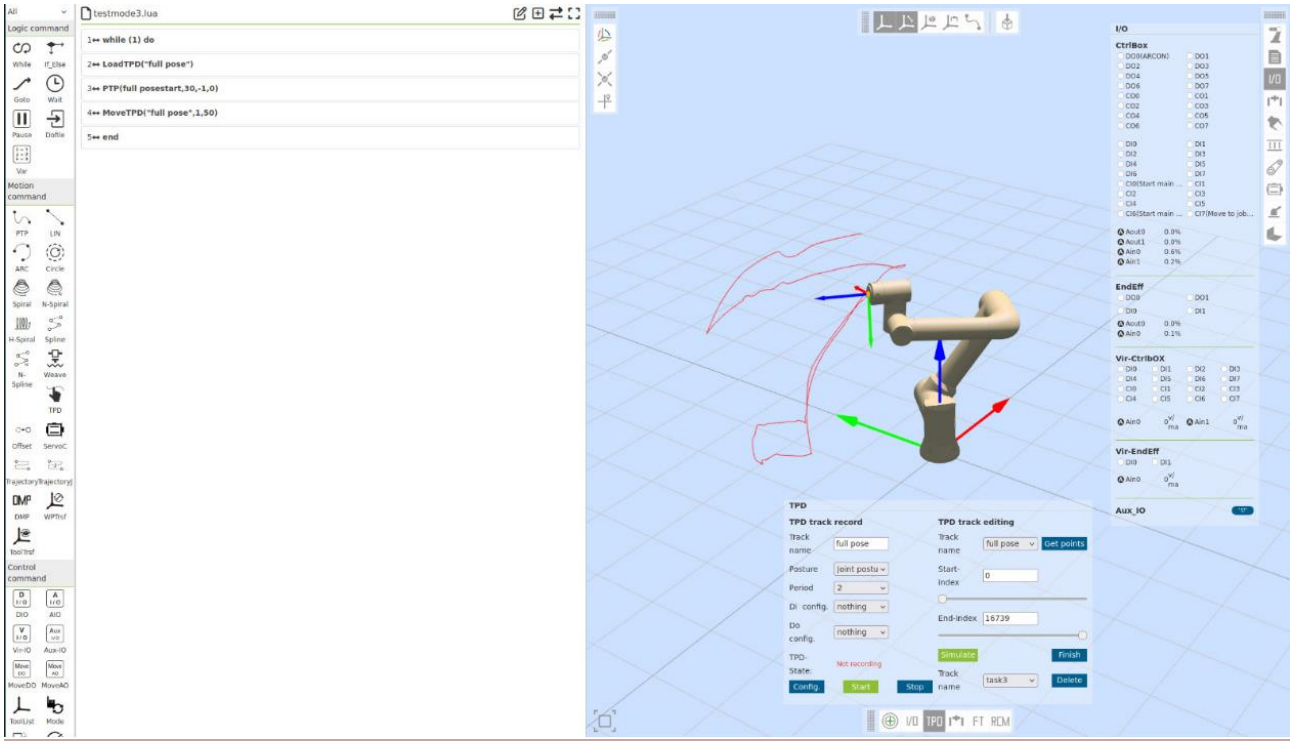


Figure 2 – Summarizes the final positioning error over all runs: the dual-camera + MPC architecture reduces the error from about 5.8 mm to 0.8 mm

This single-camera baseline produced a final average positioning error at the tool-tip of about 5.8 mm, and in several trials the engraved text was visibly offset or partially outside the intended region. In contrast, the dual-camera configuration with MPC consistently achieved sub-millimeter accuracy, with a median final error of ~0.8 mm and a standard deviation of ~0.2 mm across plates, corresponding to a roughly seven-fold reduction in error at comparable motion speeds. No systematic drift was observed; the first and last plates in long runs exhibited statistically similar errors.

The temporal behavior of the fine-alignment phase is characterized by a rapid drop in error from several millimeters after the coarse approach to below 1 mm within ~0.4 s, settling around 0.7 mm after ~0.6 s. The MPC loop runs at 7-9 Hz, with typical solve times well below the control period, and no control deadlines were missed. Thus, the dual-camera + MPC architecture improves accuracy by an order of magnitude while maintaining real-time performance and adding only minor overhead to the engraving cycle.

Using the dual-camera + MPC approach, the system consistently achieved sub-millimeter precision, with a median final error of ~0.8 mm (best cases 0.7 mm). Despite low-cost hardware and unstructured plate placement, all engravings stayed within the intended boundaries; discrepancies were only instrument-detectable. Initial placement errors of 5-10 mm from a preset approach pose were first reduced to ~2-3 mm by the overhead camera, then brought below 1 mm by the flange-mounted camera with MPC refinement. This sequential coarse-to-fine strategy was essential: the overhead camera alone could not reliably surpass ~2 mm, while a flange camera alone would struggle with large initial offsets. Performance was highly repeatable, with a standard deviation of ~0.2 mm and no observable drift across sequential engravings. Overall, the dual-camera configuration achieved ~0.8 mm versus ~5.8 mm for the single-camera baseline, underscoring the importance of local visual feedback with MPC for reliable sub-millimeter marking in unstructured conditions.

Beyond accuracy, trajectory smoothness is vital for engraving quality and mechanical longevity. Compared to rapid point-to-point (100% speed) motion with sharp velocity changes and high jerk, MPC-planned trajectories (≈50% speed) ramp velocity gradually, reducing peak acceleration, avoiding overshoot or oscillation, and keeping the tool stable on contact. This smoother motion lowers mechanical stress on the manipulator while still reaching the target promptly. Most of each control cycle remained idle and even in the worst case (~15 ms solve time) the loop only briefly dropped to ~7 Hz, confirming real-time operation with comfortable computational headroom.

We also analyzed convergence to the final pose during fine alignment. From the coarse approach position, the initial error is several millimeters; in a representative trial, the error fell below 1 mm within ~0.4 s and settled around 0.7 mm after ~0.6 s. The curve exhibited two phases: a rapid initial drop as flange-camera feedback removed most misalignment in the first half second, followed by a slower refinement correcting the last fraction of a millimeter. Across runs, the convergence profile remained consistent, with similar time constants and variance. In practice, the robot achieved sub-millimeter alignment very quickly once the plate was visible to the flange camera, so fine correction added little overhead and kept the overall cycle time from detection to engraving low.

System robustness was evaluated through both baseline and extended-run tests. In the baseline configuration (flange camera disabled), the robot's final average error increased to ~5-6 mm, and in some trials the engraved text was visibly offset or partially missing the intended area. The single-camera approach therefore could not reliably guarantee proper alignment. In contrast, the full dual-camera system kept the error under 1 mm and all engravings were correctly placed, highlighting the necessity of two-tier visual feedback for high precision.

For long-term robustness, we engraved 15 plates in a row (cycling through five randomly placed plates) without any recalibration or manual intervention; accuracy did not degrade, and no cumulative drift was observed. The system also remained stable under slight lighting variations, with ArUco detection unaffected, indicating that the architecture can maintain calibration and accuracy over extended operation in realistic industrial conditions.

Conclusions

This study demonstrated a ROS 2-based modular control architecture for high-precision robotic marking that combines MPC, dual-camera visual servoing, and embedded actuation. The overhead camera provides global guidance, while the flange-mounted camera supplies local refinement. An MPC planner fuses these inputs to generate optimized motion, enabling consistent sub-millimeter positioning under dynamic and uncertain conditions. Closed-loop frequencies of 7-9 Hz with low-latency feedback satisfied real-time requirements, and the integration of STM32 microcontrollers, high-speed serial communication, and ROS 2 proved effective for deterministic coordination. The architecture is extensible and modular, allowing

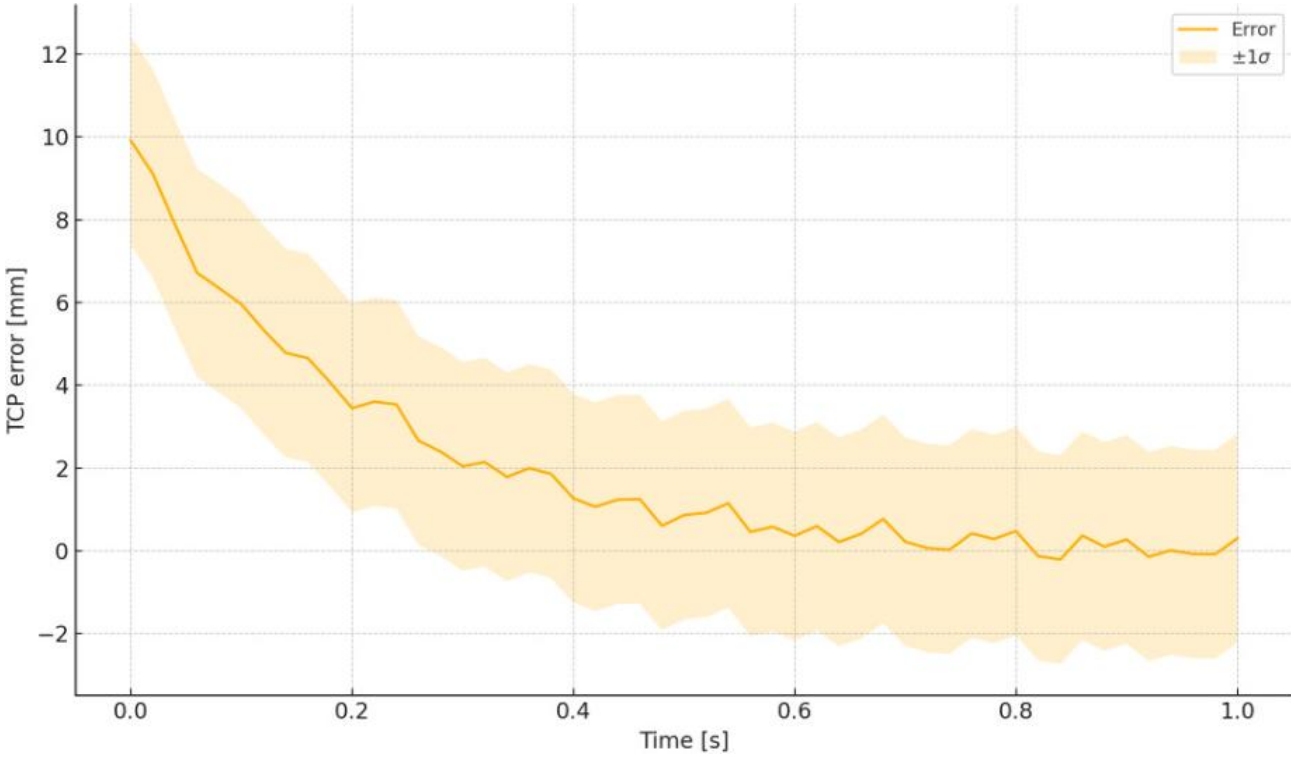


Figure 3 – Error convergence during fine alignment: error drops below 1 mm in ~0.4 s and settles near 0.7 mm

new sensors or control modules to be incorporated with minimal changes.

Compared to a single-camera baseline, the proposed dual-camera + MPC architecture reduced the final positioning error from around **5-6 mm** to **below 1 mm**, while preserving real-time closed-loop operation and adding only a small overhead to the engraving cycle. This demonstrates that integrating multi-source visual feedback with model-based optimal control can deliver substantial gains in precision without sacrificing throughput.

Future work will focus on enhancing adaptability to even less-structured environments. One direction is to integrate learning-based strategies, such as reinforcement learning agents or generative models, to handle cases without fiducial markers or with more unpredictable changes. Another avenue is to extend the system to full 3D trajectories on complex surfaces, potentially incorporating additional sensing like force feedback. We anticipate that the core concepts demonstrated here – multi-source visual feedback combined with optimal control – will remain effective as we scale to more complex scenarios. Ultimately, this work contributes to intelligent industrial automation by showing how vision and model-based control can be synergistically combined to achieve precision and flexibility beyond traditional fixed automation.

Acknowledgements: *This study was funded by the research project BR24992947 – Development of Robots, Scientific, Technical and Software for Flexible Robotization and Industrial Automation (RPA) in Automotive Industrial Enterprises in Kazakhstan Using Artificial Intelligence.*

REFERENCES

1. Wu J., Jin Z., Liu A., Yu L. Vision-based neural predictive tracking control for multi-manipulator systems with parametric uncertainty. ISA Transactions, 2021, vol. 110, pp. 247-257.
2. Gabler V., Huber G., Wollherr D. A force-sensitive grasping controller using tactile gripper fingers and an industrial position-controlled robot. In: Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2022, pp. 770-776.

3. Cao J., et al. Mechanism design and dynamic switching modal control of the wheel-legged separation quadruped robot. Robotica, 2024, vol. 42, no. 3, pp. 660-683.
4. Li H., et al. An ultrasound-guided miniature hand-eye integrated robot for percutaneous needle placement. Journal of Mechanisms and Robotics, 2025, vol. 17, no. 6, p. 065001.
5. Eichenbaum J., et al. Towards a lifelong mapping approach using Lanelet2 for autonomous open-pit mine operations. In: Proceedings of IEEE CASE, 2023, pp. 1-8.
6. Si J., et al. A UAV autonomous landing system integrating locating, tracking, and landing in the wild environment. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2024, vol. 110, no. 2, p. 51.
7. Yan J., Liu M., Jin L. Cerebellum-inspired model predictive control for redundant manipulators with unknown structure information. IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems, 2023, vol. 16, no. 3, pp. 1198-1210.

ROS 2 негізінде көру сервобасқаруы мен модельдік болжамды басқаруды біріктіретін роботтандырылған таңбалау үшін модульдік басқару архитектурасы

[1,2]ТАҢАТОВ Айбар Ілиясұлы, *докторант, jazbalar@gmail.com,*
[1,3]ОМАРОВ Батырхан Султанович, *PhD, профессор, batyahan@gmail.com,*
[1,4]*КУАТОВА Молдир Жангелдиевна, *PhD, профессор, kuatova.moldyr@gmail.com,*
[5]МЕНДЕШ Матеуш, *PhD, адъюнкт-профессор, mmendes@isr.uc.pt,*
[1]АБЕКОВА Айдана Жумагалиевна, *докторант, Abekova310792@gmail.com,*
[1]Академик Ө.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Шевченко көшесі, 29, Алматы, Қазақстан,
[2]«Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» КеАҚ, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан,
[3]«Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» АҚ, Манас көшесі, 34/1, Алматы, Қазақстан,
[4]«Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті» ЖШС, әл-Фараби даңғылы, 89/21, Алматы, Қазақстан,
[5]Коимбра политехникалық университеті, Rua da Misericórdia, Lagar dos Cortiços, S. Martinho do Bispo, Коимбра, Португалия,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Бұл жұмыста жоғары дәлдікті автономды таңбалау үшін ROS 2 негізіндегі интеллектуалды басқару архитектурасы ұсынылады. Жүйе субмиллиметрлік дәлдікке жету мақсатында модельдік предиктивті басқаруды (MPC) екі камералы көру жүйесімен біріктіреді. Көпдеңгейлі басқару стегі үстіңгі камерадан алынған ғаламдық көруді және құралға орнатылған камерадан жергілікті түзетуді үйлестіріп, маркерлер мен «көз-қол» калибрлеуі арқылы алты еркіндік дәрежесінде дәл позицияны анықтайды. Траектория жоспарлау CasADi оптимизациялық пакеті арқылы жұмыс аймағы мен жетек шектеулерін ескеріп, нақты уақытта бейімделген қозғалыс генерациясын қамтамасыз етеді. Архитектура RS-485 желісіндегі STM32 контроллерлері бар 6 DOF коботта іске асырылып, 0,7 мм-ге дейінгі қателік пен шамамен 8 Гц жабық цикл жиілігіне қол жеткізілді. Нәтижелер көру мен оптималды басқаруды ROS 2 модульдік ортада біріктірудің өнеркәсіптік автоматизацияда тиімділігін дәлелдейді.*

Кілт сөздер: *ROS 2, көру арқылы басқару, модельдік болжамды басқару, роботтандырылған таңбалау, қос камералы кері байланыс, STM32 микроконтроллері, траекторияны оңтайландыру, «қол-көз» калибрлеуі, нақты уақыттағы басқару, жоғары дәлдікті робототехника.*

Модульная архитектура управления на базе ROS 2 с интеграцией визуального сервопривода и моделирующего предиктивного управления для роботизированной маркировки

[1,2]ТАҢАТОВ Айбар Ілиясұлы, *докторант, jazbalar@gmail.com,*

*[1,3]**ОМАРОВ Батырхан Султанович,** PhD, профессор, batyahan@gmail.com,*
*[1,4]***КУАТОВА Молдир Жангелдиевна,** PhD, профессор, kuatova.moldyr@gmail.com,*
*[5]**МЕНДЕШ Матеуш,** PhD, адъюнкт-профессор, mmendes@isr.uc.pt,*
*[1]**АБЕКОВА Айдана Жумагалиевна,** докторант, Abekova310792@gmail.com,*
[1]Институт механики и машиноведения имени академика У.А. Джолдасбекова, ул. Шевченко, 29, Алматы, Казахстан,
[2]НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан,
[3]АО «Международный университет информационных технологий», ул. Манаса, 34/1, Алматы, Казахстан,
[4]ТОО «Международный инженерно-технологический университет», пр. аль-Фараби, 89/21, Алматы, Казахстан,
[5]Политехнический университет Коимбры, Rua da Misericórdia, Lagar dos Cortiços, S. Martinho do Bispo, Коимбра, Португалия,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** В работе представлена интеллектуальная архитектура управления на базе ROS 2 для высокоточных автономных операций маркировки. Система интегрирует предиктивное управление (MPC) и двухкамерное визуальное сопровождение для достижения субмиллиметровой точности. Многоуровневый стек управления сочетает глобальное восприятие с верхней камеры и локальную коррекцию с камеры на инструменте, обеспечивая точное определение положения в шести степенях свободы через маркеры и калибровку «глаз-рука». Планирование траектории формулируется как задача оптимизации в CasADi с учётом ограничений рабочего пространства и приводов, что позволяет в реальном времени генерировать адаптивные движения. Архитектура реализована на 6-осевом коботе с контроллерами STM32 (сеть RS-485), достигая ошибки до 0,7 мм и частоты замкнутого контура около 8 Гц. Результаты подтверждают эффективность подхода и демонстрируют потенциал сочетания зрения и оптимального управления в модульной среде ROS 2 для промышленной автоматизации.*

***Ключевые слова:** ROS 2, визуальное слежение, моделирующее предиктивное управление, роботизированная маркировка, двухкамерная обратная связь, микроконтроллер STM32, оптимизация траектории, калибровка «рука-глаз», управление в реальном времени, высокоточная робототехника.*

REFERENCES

1. Wu J., Jin Z., Liu A., Yu L. Vision-based neural predictive tracking control for multi-manipulator systems with parametric uncertainty. ISA Transactions, 2021, vol. 110, pp. 247-257.
2. Gabler V., Huber G., Wollherr D. A force-sensitive grasping controller using tactile gripper fingers and an industrial position-controlled robot. In: Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2022, pp. 770-776.
3. Cao J., et al. Mechanism design and dynamic switching modal control of the wheel-legged separation quadruped robot. Robotica, 2024, vol. 42, no. 3, pp. 660-683.
4. Li H., et al. An ultrasound-guided miniature hand-eye integrated robot for percutaneous needle placement. Journal of Mechanisms and Robotics, 2025, vol. 17, no. 6, p. 065001.
5. Eichenbaum J., et al. Towards a lifelong mapping approach using Lanelet2 for autonomous open-pit mine operations. In: Proceedings of IEEE CASE, 2023, pp. 1-8.
6. Si J., et al. A UAV autonomous landing system integrating locating, tracking, and landing in the wild environment. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2024, vol. 110, no. 2, p. 51.
7. Yan J., Liu M., Jin L. Cerebellum-inspired model predictive control for redundant manipulators with unknown structure information. IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems, 2023, vol. 16, no. 3, pp. 1198-1210.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_39 UDC 541.13:546.19

Electrochemical Sulphidization of the Refractory Copper Mineral Malachite from the Composition of Oxidized Waste Ores of Zhezkazgan

[1,2]**JASHIBEKOVA Anel,** *Master's Degree, anelyadzhashi@gmail.com,*
[1]**DOSPAYEV Murat,** *Dr. of Tech. Sc., Head of Laboratory, manten.mur@mail.ru,*
[1]***FIGURINENE Irina,** *Cand. of Chem. Sc., Leading Researcher, electrochimik@mail.ru,*
[3]**KAKENOV Kairat,** *Cand. of Tech. Sc., Chief of Department, sattu55@mail.ru,*
[3]**YESSENBAYEVA Gulmira,** *Cand. of Tech. Sc., Senior Researcher, esenbaeva_keu@mail.ru,*
[1]Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, 63 Ermekov Street, Karaganda, Kazakhstan,
[2]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[3]Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, 9 Akademicheskaya Street, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The aim of the research is the studying the electrochemical reduction of the refractory copper mineral malachite from oxidized ores in the presence of sodium sulfite, a sulphidizing agent, and formation of easily floatable copper (I) sulfide under voltammetric polarization conditions. The studies were conducted using a special electrode assembly design for voltammetric studies and microelectrolysis at a controlled potential of both dispersed ore monominerals and depolarizer solutions. Electrode mechanisms for the monovalent copper sulfide formation during combined cathodic reduction of malachite and sodium sulfite were established. A sulfite ion is easily reduced in an acidic medium to highly active colloidal elemental sulfur, making it an effective sulphidizer for malachite. Copper sulfide was synthesized from malachite under microelectrolysis conditions, and the sulphidizing effect of sulfite was confirmed. The effect of the electrode material on the cathodic decomposition of the synthesized Cu_2S was observed.*

Keywords: *oxidized copper ore, mineral malachite, sodium sulfite, voltammetry, electrochemical sulphidizing.*

Introduction

Currently, the Republic of Kazakhstan is experiencing a gradual depletion of high-quality mineral reserves which necessitates the processing of refractory oxidized man-made waste ores and tailings. Non-ferrous metal deposits from the upper horizons are oxidized, while those from the middle horizons are mixed and characterized by a low sulfur content and a high silicon oxide content. Refractory oxidized ores contain 0.5-1% non-ferrous metals, and the oxidation state reaches 90-95%. Refractory oxidized copper waste ores also contain predominantly oxidized forms of copper reaching 90%. The mineralogical composition of oxidized ores is primarily represented by such minerals as chrysocolla, malachite, azurite, tenorite, and cuprite, which prevent copper recovery using traditional flotation beneficiation methods. The presence of refractory minerals in ores: oxides, silicates, basic sulfates and carbonates, significantly complicates their processing and in some cases gives unsatisfactory results during flotation enrichment.

To achieve high copper recovery from refractory oxidized ores, thermal, biological, and electrochemical processing methods [1-6] are used worldwide. These methods allow for targeted modification of the surface properties of refractory minerals. The most promising method of the comprehensive and deep processing of refractory oxidized copper ores is electrochemical polarization of ore pulp, which facilitates the efficient conversion of oxidized minerals to an easily floatable sulfide form [7-9]. Since this method is performed at low temperatures (~25-70°C) and energy consumption is significantly reduced, multiple regeneration of electrolyte and reagents is possible, and harmful toxic gas emissions are absent, unlike those

associated with pyrometallurgy.

The aim of this research is to study electrochemical reduction of the refractory copper mineral malachite from oxidized ores in the presence of sodium sulfite, a sulphidizing agent, and formation of easily floatable copper (I) sulfide under voltammetric polarization conditions.

Research methods

The natural copper oxide monomineral malachite was used for voltammetric studies. Voltammetric measurements were conducted using a special electrode [9]. This special electrode assembly (Figure 1) is used for voltammetric studies of ore monominerals. It ensures contact between solid particles and the substrate metal surface and allows for easy changes in the working electrode material and surface area.

For polarization, a small sample of the dispersed monomineral is placed on the working surface of metal substrate, covered with filter paper, and pressed on top with cap (4). The working surface area of the metal substrate plate is 8.6 x 10^{-6} m^2 with the washer (3) internal diameter of 1.65 mm. Surface preparation of the metal substrate consists of mandatory polishing with sandpaper, rinsing with distilled water, and degreasing with ethyl alcohol. The potential scan rate is 10 mV/s. The potential of the reference silver/silver chloride electrode is +0.203 V. All the potential values in the voltammetric curves are given relative to the normal hydrogen electrode.

Scientific results

A titanium electrode that is inert in both acidic and alkaline environments, was chosen as the substrate electrode for the voltammetric measurements. Figure 2 shows that the polarization curve for malachite reduction in an acidic environment exhibits a single, distinct wave at the potential of approximately +0.4 V (curve 2). The surface of the titanium electrode at the point of contact with the test sample is coated with a red precipitate of newly formed elemental copper when recording the voltammetric curve.

According to [10], reduction of solid metal salts or oxides occurs through the following electrode processes:

1 – direct discharge of the solid particle;

2 – the electron carrier is an intermediate substance formed at the cathode;

3 – the solid particles undergo decomposition into cations and anions, which are then reduced at the electrode.

From this, it follows that the cathodic reduction of the oxidized mineral malachite ($CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$) can occur either through the reduction of Cu^{2+} ions formed during partial dissolution of this mineral or through direct electron discharge of the solid particles. That is, the reduction process of this mineral proceeds in parallel via mechanism I:

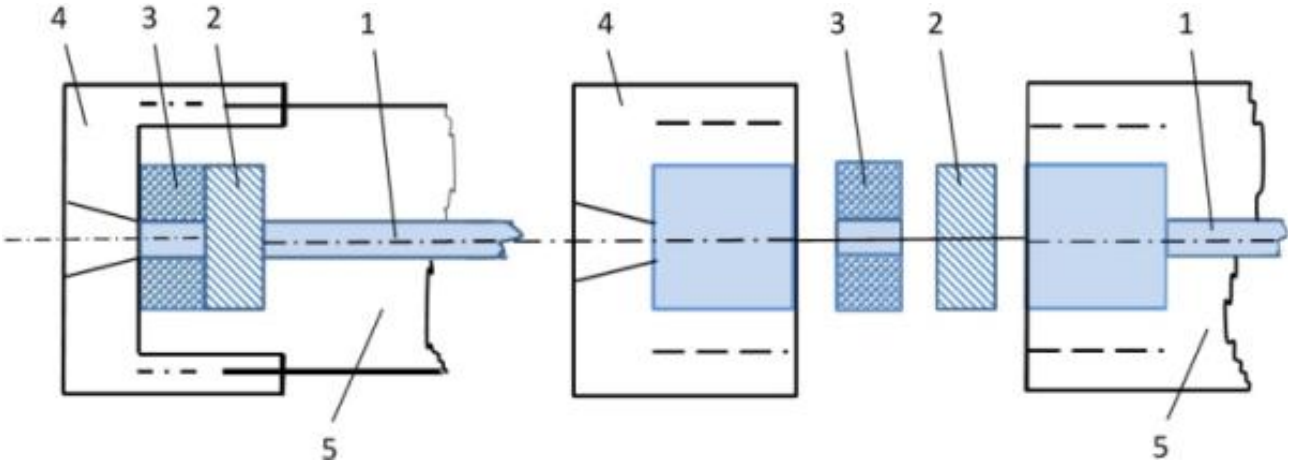
$$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2 + 4\bar{e} + 4H^+ \rightarrow 2Cu^0 + H_2CO_3 + 2H_2O, \quad E^0 = +0.508B \qquad (1)$$

and via mechanism III:

$$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 2CuSO_4 + H_2CO_3 + 2H_2O, \qquad (2)$$

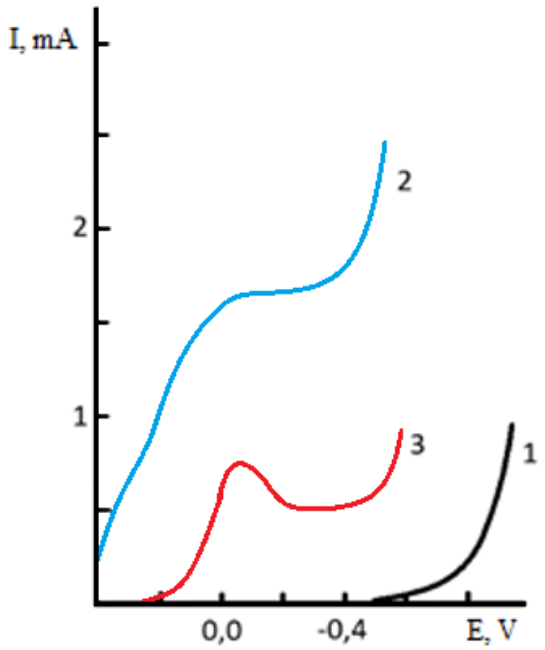
$$Cu^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow Cu^0. \qquad (3)$$

To elucidate the nature of this wave (Figure 2, curve 2), a cathodic polarization curve was recorded for the solution containing only divalent copper ions. At the potential of E≈ +0.05 V, the limiting current for the reduction of copper (II) ions (Figure 2, curve 3) accord-



1 – current lead; 2 – working electrode; 3 – washer; 4 – cap; 5 – electrode assembly corpus

Figure 1 – A special electrode assembly design



1 – background; 2 – background + a sample of malachite mineral; 3 – background + solution of Cu(II) ions 12 g/L

Figure 2 – Cathode voltammetric curves of a titanium electrode in a 100 g/L H_2SO_4 solution

ing to reaction (3) was recorded. The product of the electrode reaction is a compact, reddish precipitate of elemental copper. The maximum current (Figure 2, curve 3) indicates that the solid-phase direct discharge of particles plays the key role in the reduction of the oxidized mineral malachite.

Next, the cathodic behavior of sodium sulfite that was chosen as a sulphidizing agent stable in an acidic environment, was studied. On a titanium electrode (Figure 3, a), sulfite reduction occurs with the formation of hydrogen sulfide and elemental sulfur:

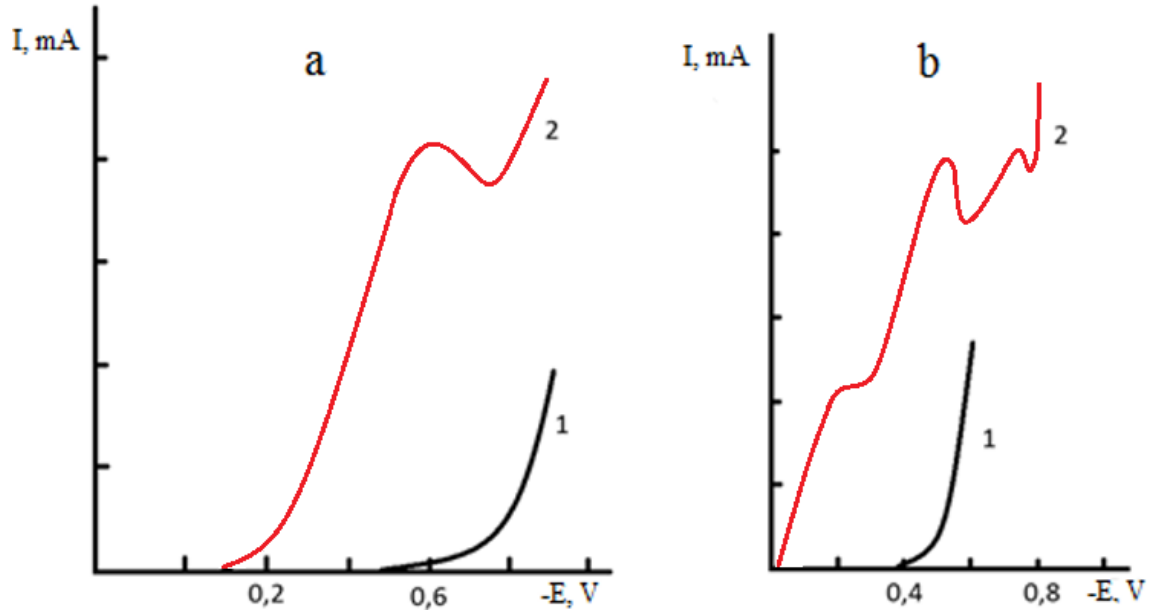
$$SO_3^{-2} + 4\overline{e} + 6H^+ \rightarrow S^0 + 3H_2O, \quad E^0 = +0.585B. \qquad (4)$$

On the copper electrode, the reduction of sulfite ion occurs via a more complex mechanism, as the voltammetric curve exhibits several current peaks (Figure 3, b). The first wave corresponds to the formation of elemental sulfur via reaction (4), after which sulfur, due to its high affinity, instantly reacts with the surface of the copper electrode to form sulfide:

$$2Cu + S \rightarrow Cu_2S. \qquad (5)$$

This is also confirmed by the fact that at the first wave potential, the copper electrode surface becomes coated with a black Cu_2S film. The second and third waves are associated with the further reduction of the formed sulfide. Thus, in an acidic medium, a sulfite ion is easily reduced to highly active colloidal elemental sulfur, and can therefore serve as an effective sulphidizer for the mineral malachite.

The combined cathodic reduction of malachite and a sulfide sulphidizer on a titanium electrode was studied (Figure 4, curve 2). The



1 – background solution (100 g/L H_2SO_4); 2 – background + 15 g/L Na_2SO_3

Figure 3 – Cathode voltammetric curves of sulfite ion reduction on titanium (a) and copper (b) electrodes

first maximum corresponds to the reduction of malachite particles to elemental copper, while the second corresponds to the reduction of sulfite to colloidal sulfur, with the electrode surface becoming coated with a loose black precipitate.

An increase in malachite sample weight leads to an increase in the height of the first maximum, while with increasing sulfite concentration, the height of the second maximum on the voltammetric curve increased (Figure 4, curve 2). Thus, by analyzing the obtained voltammetric curves, it can be concluded that on a titanium electrode in the presence of malachite and sulfite ions, malachite particles are first reduced via reactions (1-3) followed by sulfite ions forming elemental sulfur via reaction (4). Then. the newly formed active elemental copper and sulfur react directly chemically to form copper sulfide via reaction (5). As mentioned above, the black precipitate becomes visually visible on the cathode surface.

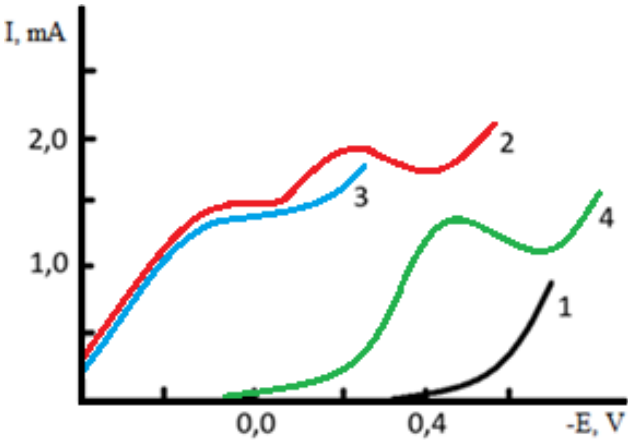
During electrochemical sulphidization of the oxidized copper mineral, the primary process of converting malachite into easily floatable copper (I) sulfide will occur during the calculated electrolysis duration. If the permissible time interval is exceeded, an undesirable process of decomposition of the resulting product Cu_2S can occur. In this regard, the cathodic behavior of electrochemically synthesized copper (I) sulfide on titanium, copper, and steel electrodes was studied. Electrosynthesis was performed by microelectrolysis at a controlled potential. We found that the reduction of the synthesized copper (I) sulfide depends on the electrode material. The equilibrium potential of copper and stainless steel in a background H_2SO_4 solution is +0.2 V, while that of titanium is ~0.0 V. The equilibrium potential of all studied electrode materials with a Cu_2S sample is the same and is ~+0.4 V. In the sulfide powder–electrode–solution system, the electrode potential is significantly more positive than in the electrode–solution system. So, the sulfide powder "imposes" a potential on the substrate metal, the magnitude of which depends on the Cu^{2+}/Cu+ ratio. On the cathodic volt-ampere curves (Figure 5, curves 1 and 2), taken on copper and titanium electrodes, two waves are observed at potentials of ~ +0.4 and 0.0 V. The authors assume that the first wave corresponds to the reduction of Cu^{2+} ions partially formed when an electrode with a weighed sample of Cu_2S is immersed in a solution of sulfuric acid, to Cu+ ions. The second wave corresponds to the Cu_2S reduction:

$$Cu_2S + 2H^+ + 2\bar{e} \rightarrow Cu^0 + H_2S_{solution}, \quad E^0 = -0.305B. \qquad (6)$$

The electrode surface at the point of contact with the sample is coated with elemental copper.

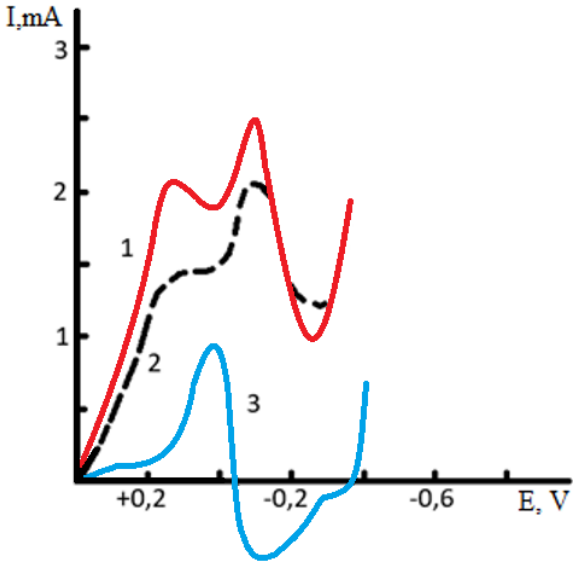
In the cathode curve of a stainless steel electrode (Figure 5, curve 3), the first current maximum is observed at a potential of ~+0.1 V. This is due to the fact that, as we noted earlier, partial dissolution of the sample occurs, with the release of Cu^{2+} ions into the solution that undergo a carburization reaction with the electrode material:

$$Cu^{2+} + Fe^0 \rightarrow Cu^0 + Fe^{2+}, \qquad (7)$$



1 – background (100 g/L H_2SO_4); 2 – background + sample of malachite mineral + 15 g/L Na_2SO_3; 3 – background + sample of malachite mineral; 4 – background + 15 g/L Na_2SO_3

Figure 4 – Cathode voltammetric curves of a titanium electrode



1 – copper; 2 – titanium; 3 – stainless steel

Figure 5 – Cathode voltammetric curves of copper sulfide on solid electrodes in a sulfuric acid solution, 100 g/L

and form elemental copper. Therefore, the reduction waves of Cu^{2+} ions are not observed on the polarization curve. The first current maximum is associated with the direct discharge of copper sulfide via the electron mechanism (reaction 6). The potential of this wave coincides with the potential of the second peak, corresponding to the discharge of Cu_2S, on the cathodic polarization curves of copper and titanium (Figure 5, curves 1 and 2). Freshly formed elemental copper is very active and dissolves in a sulfuric acid solution to the divalent state. This process is recorded as an anodic wave. With further polarization, Cu2+ ions in the near-cathode layer are reduced to elemental copper, which corresponds to the third wave at a potential of ~ -0.2 V on the voltammetric curve. This is followed by a wave of hydrogen sulfide evolution along with hydrogen.

Conclusion

Electrochemical reduction of the refractory copper mineral malachite from refractory oxidized ores in the presence of sodium sulfite as a sulphidizer and formation of readily floatable copper (I) sulfide under voltammetric polarization conditions were studied. The studies were conducted using a special electrode assembly design for voltammetric studies and microelectrolysis at a controlled potential of both dispersed ore monominerals and depolarizer solutions. Electrode mechanisms for the formation of monovalent copper sulfide during combined cathodic reduction of malachite and sodium sulfite were established. A sulfite ion is easily reduced in an acidic medium to highly active colloidal elemental sulfur making it an effective sulphidizer for malachite. Copper sulfide was synthesized from malachite under microelectrolysis conditions, and the sulphidizing effect of sulfite was confirmed. The effect of the electrode material on the cathodic decomposition of the synthesized Cu_2S was observed. Thus, targeted preliminary electrochemical polarization of oxidized copper mineral particles with altered surface properties enables their conversion to the sulfide form with the selection of an effective sulphidizing agent. The obtained results are of practical significance and serve as a prerequisite for the electrolytic conversion of refractory oxidized copper minerals to the easily floatable sulfide form.

This research has been/was/is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP23487866).

REFERENCES

1. Kozhakhmetov S.M., Kvyatkovskii S.A., Sultanov M.K., Tulegenova Z.K., Semenova A.S. Processing of oxidized copper ores and sulfide copper concentrates of the Aktogay deposit by pyrometallurgical method. KIMS. 2018. 3. 54-62. https://doi.org/10.31643/2018/6445.17.
2. Investigation of Copper Recovery rate from Copper Oxide Ore Occurring as Coarse Grains Locked in a Porphyritic Fine Grain Alumina and Silica. Bamidele Emmanuel, John Ade Ajayi, Elizabeth Makhatha. Energy Procedia. 2019. 157. 972-976. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.264
3. Sinclair L., Thompson J. In-situ leaching of copper: challenges and future prospects. Hydrometallurgy. 2015. 157. 306-324. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.08.022
4. Gorlova O.E., Medyanik N.L., Mishurina O.A., Mullina E.R. Combined technology for processing mixed copper ore using flotation and hydrometallurgical processes. FTPRPI. 2021. 5. 140-149. DOI: 10.15372/FTPRPI20210513
5. Metallurgical evaluation of copper ore flotation performance in the presence of Rhamnolipid biosurfactant produced from Pseudomonas aeruginosa. Part 1: Copper-bearing minerals. Gholamreza Biniaz, Hamid Khoshdast, Mohammad Reza Garmsiri, Mostafa MalekiMoghaddam, Ahmad Hassanzadeh. Physicochem. Probl. Miner. Process. 2023. 59 (5). 183176. DOI: 10.37190/ppmp/183176.
6. Carbon nanodots as light-activated oxidase nanozyme for ecofriendly leaching of copper from scrap. Velichka Arahangelova, Alexandre Loukanov. Sustainable extraction and processing of raw materials journal. 2022.
7. Chanturia V.A., Bunin I.Z., Ryazantseva M.V., Chanturia E.L., Khabarova I.A., Koporulina E.V., Anashkina N.E. Modification of structural, chemical and process properties of rare metal minerals under treatment by high-voltage nanosecond pulses. Journal of Mining Science. 2018. 53. 4. 718-733.
8. Bayeshov A., Zhurinov M.Z., Zhumakanova A.S., Bayeshova A.K., Syzdykova B.B., Dospayev D.M, Kakenov K.S. Physical-and-chemical regularities of forming chrysocolla mineral in metasilicate solutions. News of the academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, series of geology and technical sciences. Almaty. 2018. 5 (431). 107-112.

9. Dospayev M.M., Figurinene I.V., Gabdullin S.T. Combined electrochemical sulfidization of refractory oxidized copper ores. Obogashchenie Rud. 2024. 5. 19-24. https://doi.org/10.17580/or.2024.05.04, https://www.rudmet.ru/catalog/journal/2354/
10. Dausheva M.R., Songina O.A. Behavior of a suspension of poorly soluble substances on electrodes. Uspekhi khimii. 1973. 42. 2. 323-342.

Жезқазған тотыққан үйінді кендерінің құрамына кіретін қиынбайытылатын малахит мыс минералын электрохимиялық жолымен сульфидтендіру

[1,2]ДЖАШИБЕКОВА Анель Нурлановна, *магистрант, anelyadzhashi@gmail.com,*
[1]ДОСПАЕВ Мурат Мантенович, *т.ғ.д., зертхана меңгерушісі, manten.mur@mail.ru,*
[1]*ФИГУРИНЕНЕ Ирина Владиславовна, *х.ғ.к., жетекші ғылыми қызметкер, electrochimik@mail.ru,*
[3]КАКЕНОВ Кайрат Саттуевич, *т.ғ.к., бөлім бастығы, sattu55@mail.ru,*
[3]ЕСЕНБАЕВА Гульмира Ахмадиевна, *т.ғ.к., аға ғылыми қызметкер, esenbaeva_keu@mail.ru,*
[1]Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Ермеков көшесі, 63, Қарағанды, Қазақстан,
[2]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[3]Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті, Академическая көшесі, 9, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Жұмыстың мақсаты – тотыққан кендер құрамына кіретін қиын байытылатын малахит мыс минералының электрохимиялық тотықсызданууын және сульфидтеуші натрий сульфитінің қатысуымен вольтамперлік поляризациялау жағдайында жеңіл флотацияланатын мыс сульфиді (I) түзілуін зерттеу. Зерттеулер өте ұсақ кен минералдарды, ерітіндідегі деполяризаторларды вольтамперлік поляризациялау және олардың микроэлектролизын арнайы конструкцияланған электродта потенциалды бақылау жағдайында өткізілді. Малахит минералының және натрий сульфитімен бірлесіп катодтық тотықсыздану кезінде бір валентті мыс сульфиді түзілунің электродтық механизмі анықталды. Сульфит-ионы қышқыл ортада белсенділігі жоғары коллоидты элементті күкіртке дейін жеңіл тотықсызданады, сондықтан малахит минералын сульфидтейтін тиімді сульфидтеуші болып саналады. Микроэлектролиз жағдайында малахит минералынан және дәлелденген натрий сульфитінің сульфидтеуші әсерінің негізінде мыс сульфиді синтезделді. Синтезделген Cu_2S-тің катодтық ыдырауына электрод материалының әсері анықталды.*

Кілт сөздер: *тотыққан мыс кені, малахит минералы, натрий сульфиті, вольтамперометрлік, электрохимиялық сульфидтендіру.*

Электрохимическая сульфидизация труднообогатимого минерала меди малахита из состава окисленных отвальных руд Жезказгана

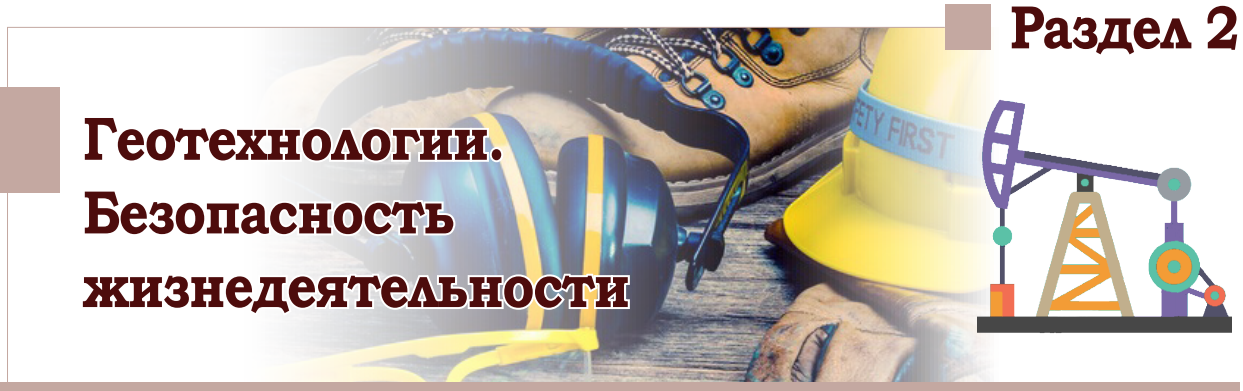
[1,2]ДЖАШИБЕКОВА Анель Нурлановна, *магистрант, anelyadzhashi@gmail.com,*
[1]ДОСПАЕВ Мурат Мантенович, *д.т.н., зав. лабораторией, manten.mur@mail.ru,*
[1]*ФИГУРИНЕНЕ Ирина Владиславовна, *к.х.н., ведущий научный сотрудник, electrochimik@mail.ru,*
[3]КАКЕНОВ Кайрат Саттуевич, *к.т.н., начальник отдела, sattu55@mail.ru,*
[3]ЕСЕНБАЕВА Гульмира Ахмадиевна, *к.т.н., старший научный сотрудник, esenbaeva_keu@mail.ru,*
[1]Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, ул. Ермекова, 63, Караганда, Казахстан,
[2]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[3]Карагандинский университет Казпотребсоюза, ул. Академическая, 9, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Целью исследований является изучение процесса электрохимического восстановления труднообогатимого минерала меди малахита из состава окисленных руд в присутствии сульфидизатора сульфита натрия и формирования легкофлотируемого сульфида меди (I) в условиях вольтамперной поляризации. Исследования проведены с помощью специально сконструированного электрода для вольтамперных исследований и проведения микроэлектролиза при контролируемом потенциале как дисперсных рудных минералов, так и растворов деполяризаторов. Установлены электродные механизмы образования сульфида одновалентной меди при совместном катодном восстановлении минерала малахита и сульфита натрия. Сульфит-ион легко восстанавливается в кислотной среде до высокоактивной коллоидной элементной серы, поэтому является эффективным сульфидизатором минерала малахита. В условиях микроэлектролиза был синтезирован сульфид меди из минерала малахита и подтверждено сульфидирующее действие сульфита. Обнаружено влияние материала электрода на катодное разложение синтезированного* Cu_2S.

Ключевые слова: *окисленная медная руда, минерал малахит, сульфит натрия, вольтамперометрия, электрохимическое сульфидирование.*

REFERENCES

1. Kozhakhmetov S.M., Kvyatkovskii S.A., Sultanov M.K., Tulegenova Z.K., Semenova A.S. Pererabotka okislennykh mednykh rud i sulfidnykh mednykh kontsentratov Aktogaiskogo mestorozhdeniya pirometallurgicheskimi sposobami [Processing of oxidized copper ores and sulfide copper concentrates of the Aktogay deposit by pyrometallurgical methods]. KIMS. 2018. 3. 54-62. https://doi.org/10.31643/2018/6445.17.
2. Investigation of Copper Recovery rate from Copper Oxide Ore Occurring as Coarse Grains Locked in a Porphyritic Fine Grain Alumina and Silica. Bamidele Emmanuel, John Ade Ajayi, Elizabeth Makhatha. Energy Procedia. 2019. 157. 972-976. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.264
3. Sinclair L., Thompson J. In-situ leaching of copper: challenges and future prospects. Hydrometallurgy. 2015. 157. 306-324. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.08.022
4. Gorlova O.E., Medyanik N.L., Mishurina O.A., Mullina E.R. Kombinirovannaya tekhnologiya pererabotki smeshannoi mednoi rudy s ispol'zovaniem flotatsionnykh i gidrometallurgicheskikh protsessov [Combined technology for processing mixed copper ore using flotation and hydrometallurgical processes]. FTPRPI. 2021. 5. 140-149. DOI: 10.15372/FTPRPI20210513
5. Metallurgical evaluation of copper ore flotation performance in the presence of Rhamnolipid biosurfactant produced from Pseudomonas aeruginosa. Part 1: Copper-bearing minerals. Gholamreza Biniaz, Hamid Khoshdast, Mohammad Reza Garmsiri, Mostafa MalekiMoghaddam, Ahmad Hassanzadeh. Physicochem. Probl. Miner. Process. 2023. 59 (5). 183176. DOI: 10.37190/ppmp/183176.
6. Carbon nanodots as light-activated oxidase nanozyme for ecofriendly leaching of copper from scrap. Velichka Arahangelova, Alexandre Loukanov. Sustainable extraction and processing of raw materials journal. 2022.
7. Chanturia V.A., Bunin I.Z., Ryazantseva M.V., Chanturia E.L., Khabarova I.A., Koporulina E.V., Anashkina N.E. Modification of structural, chemical and process properties of rare metal minerals under treatment by high-voltage nanosecond pulses. Journal of Mining Science. 2018. 53. 4. 718-733.
8. Bayeshov A., Zhurinov M.Z., Zhumakanova A.S., Bayeshova A.K., Syzdykova B.B., Dospayev D.M, Kakenov K.S. Physical-and-chemical regularities of forming chrysocolla mineral in metasilicate solutions. News of the academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, series of geology and technical sciences. Almaty. 2018. 5 (431). 107-112.
9. Dospayev M.M., Figurinene I.V., Gabdullin S.T. Combined electrochemical sulfidization of refractory oxidized copper ores. Obogashchenie Rud. 2024. 5. 19-24. https://doi.org/10.17580/or.2024.05.04, https://www.rudmet.ru/catalog/journal/2354/
10. Dausheva M.R., Songina O.A. Povedenie suspenzii trudno-rastvorimykh veshchestv na elektrodakh [Behavior of a suspension of poorly soluble substances on electrodes]. Uspekhi khimii. 1973. 42. 2. 323-342.



Геотехнологии. Безопасность жизнедеятельности

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_46 УДК 331.45

Улучшение безопасности в строительстве с помощью IoT-технологий

[1]***САДВАКАСОВА Дана Абилмухижановна,*** *магистрант, d.sadvakassova@aues.kz,*
[2]***ЖҰМАҒАЛИЕВ Абат Мұратұлы,*** *магистр, abat4567@gmail.com,*
[1]*НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», ул. А. Байтурсынова, 126/1, Алматы, Казахстан,*
[2]*ТОО «Алматинские тепловые сети», ул. Байзакова, 221, Алматы, Казахстан,*
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассматривается применение технологий Интернета вещей (IoT) для повышения уровня безопасности в строительной отрасли. Анализируются основные причины несчастных случаев на строительных объектах и предлагаются инновационные решения на основе IoT-устройств. В качестве примера рассматривается интеллектуальная каска «Smart Helmet» с интегрированными датчиками для мониторинга окружающей среды и состояния рабочих. Исследованы преимущества IoT-решений, их влияние на снижение травматизма и примеры успешного внедрения в различных странах. В работе также рассматриваются методологические аспекты оценки эффективности внедрения IoT-систем и предлагаются рекомендации для их адаптации в Казахстане.*

Ключевые слова: *безопасность, IoT, строительная отрасль, Smart Helmet, мониторинг, предиктивный анализ, защита рабочих, цифровизация, технологические инновации, датчики, предиктивная аналитика.*

Введение

Строительная отрасль является одним из наиболее опасных секторов экономики с точки зрения производственного травматизма. По данным Международной организации труда (ILO), ежегодно в мире фиксируется свыше 60000 смертельных случаев на стройплощадках, что составляет значительную долю от общего количества несчастных случаев на производстве. Основные причины аварийных ситуаций в строительстве включают несоблюдение норм техники без-

опасности, низкий уровень подготовки персонала, устаревшее оборудование, а также неблагоприятные климатические условия, влияющие на выполнение работ.

В Казахстане строительная отрасль активно развивается, однако вопросы обеспечения безопасности труда остаются крайне актуальными. Согласно данным Комитета труда и социальной защиты населения, в 2023 году на строительных объектах страны произошло более 300 несчастных случаев, из которых 45% закончились летальным исходом. Это указывает на необходимость внедрения современных технологических решений, позволяющих повысить уровень безопасности на стройплощадках [1].

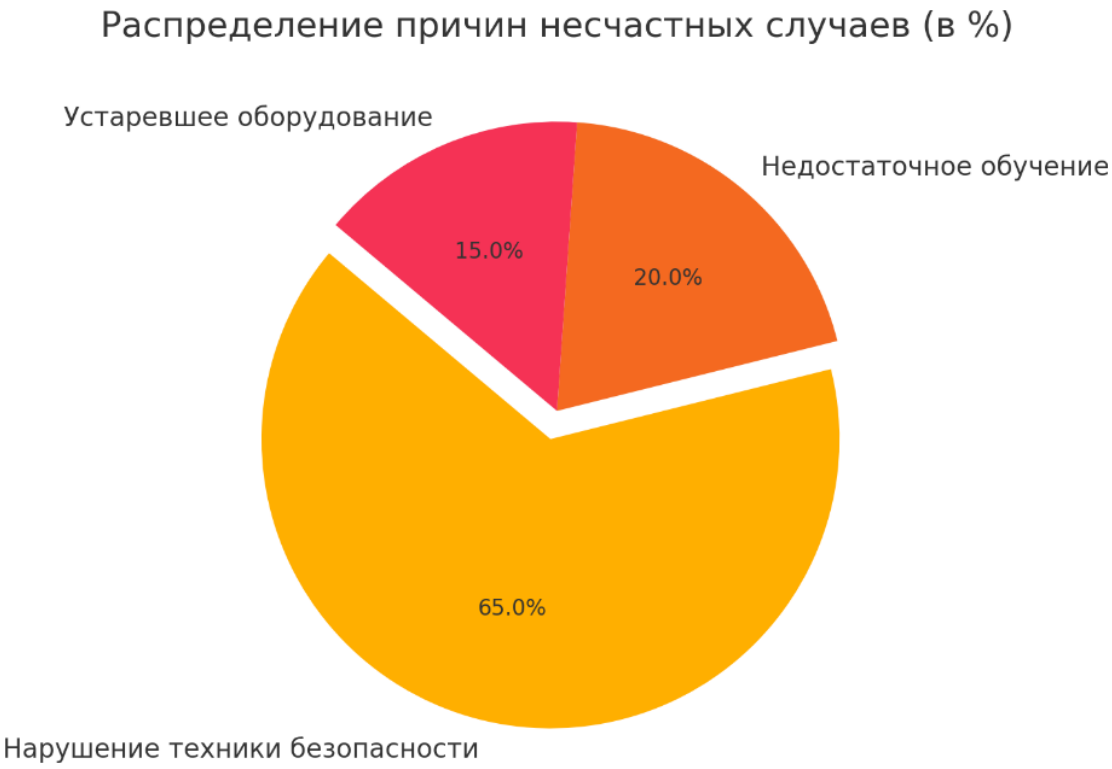
Как указано на рисунке 1, основные причины несчастных случаев включают:

1. Нарушение техники безопасности (65% случаев): отсутствие использования средств индивидуальной защиты, неправильная организация рабочего процесса.

2. Недостаточное обучение (20%): низкий уровень подготовки персонала и отсутствие регулярных тренингов.

3. Устаревшее оборудование (15%): использование техники, не соответствующей современным стандартам безопасности.

В условиях активного технологического развития цифровизация процессов строительства становится приоритетной задачей для повышения уровня безопасности и со-



Распределение причин несчастных случаев [1]

Таблица 1 – Статистика несчастных случаев по годам [1]

Год	Количество несчастных случаев	Смертельные исходы (%)	Основные причины
2018	275	38	Нарушение техники безопасности
2019	290	40	Недостаточное обучение
2020	310	42	Нарушение техники безопасности
2021	320	45	Недостаточный контроль за состоянием рабочих
2022	330	44	Отсутствие мониторинга окружающей среды
2023	305	45	Устаревшее оборудование

кращения несчастных случаев. Одним из наиболее перспективных решений в данной области является внедрение технологий Интернета вещей (IoT), которые позволяют в режиме реального времени осуществлять мониторинг критически важных параметров на строительной площадке. IoT-решения включают в себя интеллектуальные носимые устройства, системы предиктивной аналитики, сенсоры окружающей среды и беспилотные летательные аппараты, обеспечивающие сбор и анализ данных для предупреждения аварийных ситуаций.

В последние годы в научной литературе уделяется значительное внимание применению IoT для повышения безопасности в строительстве. Исследование Kim et al. (2023) показало, что использование носимых датчиков на основе IoT позволяет в реальном времени отслеживать состояние рабочих, снижая риск несчастных случаев на 25%. Chen et al. (2021) проанализировали влияние умных сенсорных сетей на безопасность строительных объектов и выявили, что интеграция IoT с предиктивной аналитикой позволила снизить количество аварийных ситуаций на 30% [2].

García et al. (2022) разработали систему предиктивного анализа на основе IoT, которая позволяет прогнозировать потенциальные аварии, анализируя данные с носимых устройств и датчиков, фиксирующих положение рабочих и состояние оборудования. В странах, где внедрены такие системы, наблюдается снижение уровня травматизма в среднем на 18% [3].

В исследованиях Zhang et al. (2023) изучалось применение дронов с IoT-аналитикой для мониторинга опасных зон на строительных площадках. В результате было выявлено, что автоматизированный контроль с использованием беспилотных летательных аппаратов позволил оперативно выявлять потенциальные угрозы, минимизируя риски для работников [4].

Таким образом, интеграция IoT-решений в строительные процессы уже доказала свою эффективность в ряде развитых стран. Однако для успешного внедрения данных технологий в Казахстане необходимо учитывать местные климатические условия, особенности организации строительных работ и доступность цифровых технологий для малого и среднего бизнеса.

В данной статье рассматриваются ключевые аспекты применения IoT-технологий для повышения уровня безопасности в строительной отрасли. Проведен анализ существующих практик использования интеллектуальных устройств, приведены примеры успешного внедрения технологий в различных странах. Также предложены рекомендации по адаптации данных решений для строительного сектора Казахстана с учетом специфики климатических и экономических условий страны.

Методы исследования

Одним из перспективных решений является использование инновационных технологий, таких как устройства Интернета вещей (IoT). Среди них особое внимание заслуживает интеллектуальная каска «Smart Helmet», оснащённая IoT-датчиками, которые обеспечивают контроль над ключевыми параметрами безопасности на рабочих местах. Эти устройства уже зарекомендовали себя в других странах, таких как Южная Корея и Сингапур, показав значительное снижение числа несчастных случаев.

«Smart Helmet» – это инновационное устройство, которое не только защищает голову рабочего от физических повреждений, но и оснащено встроенными датчиками для мониторинга окружающей среды и состояния здоровья. Системы на базе IoT-датчиков могут анализировать данные в реальном времени и предупреждать работников о потенциальных угрозах, таких как опасные уровни шума, недостаточная вентиляция или перегрев [5].

Технология «Smart Helmet» и её возможности

IoT (Internet of Things) – это концепция объединения физических устройств в единую сеть, позволяющую обмениваться данными в реальном времени. В строительной отрасли IoT-решения позволяют:

Улучшить контроль безопасности:

Устройства IoT, такие как датчики температуры, влажности, шума и вибрации, помогают выявлять опасные условия на строительной площадке.

Умные системы предупреждают рабочих и руководство о возможных угрозах.

Оптимизировать управление ресурсами:

Технологии IoT используются для мониторинга оборудования, предотвращения поломок и повышения эффективности использования техники.

Автоматизированный учёт материалов помогает избегать излишних затрат.

Мониторинг состояния здоровья рабочих:

Биометрические датчики фиксируют уровень усталости, сердцебиение и другие важные параметры здоровья.

Эти данные помогают предотвратить несчастные случаи, связанные с перегрузками и ухудшением состояния работников.

Обеспечить контроль доступа:

IoT-устройства, такие как умные карты или браслеты, ограничивают доступ к опас-

ным зонам.

GPS-трекеры помогают отслеживать перемещения рабочих и техники.

Примеры использования IoT на практике

1. Smart Helmet:

Оснащена множеством датчиков, включая GPS, микрофоны, камеры и биометрические модули.

Встроенные алгоритмы предупреждают о превышении допустимых уровней шума, температуры или вибрации.

Умные строительные площадки:

Датчики IoT объединяются в единую платформу для анализа данных и контроля за соблюдением стандартов безопасности.

Пример: использование дронов с камерами для инспекции высотных конструкций.

Мониторинг оборудования:

IoT-решения фиксируют состояние техники, проводя предиктивную аналитику для предотвращения неисправностей.

Влияние IoT на строительную отрасль Казахстана

Внедрение IoT в строительстве позволяет Казахстану повысить конкурентоспособность отрасли. Основные преимущества включают:

Снижение уровня травматизма на 30% благодаря своевременной идентификации угроз.

Повышение производительности труда за счёт оптимизации рабочих процессов.

Уменьшение финансовых потерь, связанных с несчастными случаями и простоем техники.

Таким образом, применение IoT-решений, таких как «Smart Helmet», способствует значительному повышению уровня безопасности и эффективности строительных процессов.

«Smart Helmet» – это умная каска, оснащённая IoT-датчиками, которая обеспечивает комплексный подход к обеспечению безопасности на рабочем месте. Основные функции устройства включают:

1. Мониторинг окружающей среды: измерение температуры, влажности, уровня шума и качества воздуха.

2. Контроль состояния рабочего: встроенные биометрические датчики фиксируют пульс, уровень усталости и другие показатели здоровья.

3. Обеспечение предупреждений: автоматическое оповещение о выходе параметров за допустимые пределы.

4. Локация и контроль перемещений: GPS-слежение позволяет предотвратить нахождение рабочих в опасных зонах.

Внедрение «Smart Helmet» позволяет не только минимизировать риски на рабочих местах, но и способствует созданию системного подхода к управлению безопасностью в строительной отрасли Казахстана.

Применение умных касок позволяет:

1. Снизить уровень травматизма за счёт раннего выявления опасных ситуаций.

2. Повысить производительность труда благодаря улучшению условий работы.

3. Уменьшить расходы на лечение пострадавших и компенсации.

4. Создать культуру безопасности на предприятиях.

Перспективы внедрения технологии в Казахстане

Для успешного внедрения «Smart Helmet» в Казахстане необходимо учитывать следующие аспекты:

1. Экономическая доступность: стоимость одной каски составляет $500-700, что делает её применимой для крупных компаний. Государственная поддержка может сделать технологию доступной для малого и среднего бизнеса.

2. Адаптация под климатические условия: оборудование должно быть устойчиво к экстремальным температурам, пыльным ветрам и другим особенностям регионов Казахстана.

3. Обучение персонала: необходимо проводить регулярные тренинги по использованию умных касок.

4. Интеграция с существующими системами безопасности: создание платформы для анализа данных с IoT-датчиков и их интеграция в общую систему мониторинга.

Научные результаты

Адаптация касок «Smart Helmet» к экстремальному климату Казахстана.

Климатические условия Казахстана характеризуются большими перепадами тем-

Таблица 2 – Эффективность внедрения «Smart Helmet» (на примере Южной Кореи) [6]

Показатель	До внедрения	После внедрения
Количество несчастных случаев	100	75
Производительность труда	100%	115%
Расходы на компенсации	$1,000,000	$750,000

пературы, сильными морозами зимой, высокой запылённостью и сильными ветрами в некоторых регионах. Для эффективного использования «Smart Helmet» в таких условиях необходимо:

1. Устойчивость к перепадам температур

Решение: Использование материалов, устойчивых к экстремальным температурам (-40°C до +50°C).

Пример: Применение теплоизолирующих слоёв и терморегуляторов внутри каски.

Защита от пыли и влаги

Решение: Уплотнённые корпуса сенсоров и вентиляционные фильтры.

Пример: Использование стандартов IP67 или IP68 для защиты оборудования от пыли и воды.

Устойчивость к ветровым нагрузкам

Решение: Эргономичный дизайн, предотвращающий сдувание каски при сильных порывах ветра.

Пример: Дополнительные фиксаторы и ремни для обеспечения надёжного крепления.

Сохранение функциональности в условиях низких температур

Решение:

Использование аккумуляторов с повышенной морозостойкостью.

Внедрение системы обогрева для обеспечения работы сенсоров.

Пример: Установка литий-ионных батарей, способных работать при температуре до -40°C.

Технологии для предотвращения перегрева

Решение:

Встроенные охлаждающие модули для комфортной работы при высоких температурах.

Термочувствительные покрытия для отражения солнечных лучей.

Пример: Использование пассивной вентиляции и активных систем охлаждения.

Интеграция IoT-решений, таких как Smart Helmet, представляет собой важный шаг в модернизации систем безопасности на производстве. Эти технологии уже продемонстрировали свою эффективность в различных отраслях и странах, особенно в условиях, схожих с Казахстаном. Введение Smart Helmet позволит значительно снизить показатели травматизма, повысить производительность труда и создать культуру безопасности, которая является основой устойчивого экономического роста.

Заключение

Успешное внедрение требует участия всех заинтересованных сторон: от государства, предоставляющего субсидии и создающего благоприятные условия для цифровизации, до бизнеса, готового инвестировать в инновации. Кроме того, образование и подготовка кадров для работы с IoT-устрой-

Таблица 3 – План внедрения «Smart Helmet»

Этап	Длительность	Основные действия	Ожидаемые результаты
Анализ условий	2 месяца	Аудит строительных площадок	Определение потребностей
Пилотное внедрение	6 месяцев	Использование на пилотных площадках	Тестирование технологии
Обучение персонала	3 месяца	Тренинги, разработка руководств	Готовность рабочих к использованию
Интеграция систем	4 месяца	Внедрение платформы IoT	Сбор данных и аналитика
Масштабирование	12 месяцев	Расширение на все объекты	Снижение травматизма

Таблица 4 – Климатические требования и предлагаемые решения

Климатический фактор	Проблемы	Решения
Низкие температуры	Замерзание сенсоров, снижение ёмкости батарей	Утеплённые корпуса, морозостойкие аккумуляторы
Высокие температуры	Перегрев устройств	Охлаждающие модули, термопокрытия
Запылённость	Засорение сенсоров	Герметичные корпуса, фильтры
Высокая влажность	Повреждение электроники	Стандарты защиты IP67/IP68

Таблица 5 – Сравнение результатов внедрения по странам [6]

Страна	Травматизм до внедрения	Травматизм после внедрения	Соблюдение стандартов (%)
Республика Корея	100 случаев	75 случаев	90
Сингапур	120 случаев	90 случаев	90
США	150 случаев	105 случаев	85
Япония	80 случаев	64 случая	95
Китай	200 случаев	100 случаев	80
Германия	70 случаев	53 случая	85
ОАЭ	50 случаев	20 случаев	92

ствами станут важным фактором их успешной адаптации.

Климатические и инфраструктурные особенности Казахстана требуют дополнительных доработок устройств, таких как защита от экстремальных температур и пыли. Однако адаптация Smart Helmet к этим условиям может превратить Казахстан в модельный регион для внедрения IoT-технологий в странах с аналогичными вызовами.

В итоге использование Smart Helmet в сочетании с государственной поддержкой и инициативами бизнеса откроет возможности не только для повышения безопасности на производстве, но и для увеличения конкурентоспособности Казахстана на мировой арене. Реализация предложенных рекомендаций создаст мощный стимул для дальнейшей цифровизации экономики и развития технологий будущего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комитет по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан. Статистика строительства и безопасности труда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stat.gov.kz (дата обращения: 29.05.2025).
2. Kim, J., Lee, S., Park, H. Wearable IoT sensors for occupational safety: A comprehensive review // Safety Science. – 2023. – Vol. 160. – P. 105184.
3. García, P., Alonso, J., Ramirez, F. Predictive analytics for workplace safety using machine learning // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2022. – Vol. 18, № 4. – Pp. 3760-3772.
4. Lee, M., Park, J. Integration of AI and IoT for Construction Safety // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 135. – P. 104188.
5. Li, X., Chen, W., Zhou, T. UAV-integrated IoT system for hazardous area monitoring in construction sites // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2024. – Vol. 38, № 2. – P. 04023065.
6. Концепция цифровой трансформации, развития сферы информационно-коммуникационных технологий и кибербезопасности на 2023-2029 годы / Постановление Правительства Республики Казахстан от 12 декабря 2022 года № 986. – Астана, 2022. – 45 с.

IoT технологияларымен құрылыс қауіпсіздігін арттыру

[1]*САДВАКАСОВА Дана Абилмухижановна, *магистрант, d.sadvakassova@aues.kz,*
[2]ЖҰМАҒАЛИЕВ Абат Мұратұлы, *магистр, abat4567@gmail.com,*
[1]«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КеАҚ, А. Байтұрсынұлы көшесі, 126/1, Алматы, Қазақстан,

[2]«Алматы жылу желілері» ЖШС, Байзаков көшесі, 221, Алматы, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Заттар интернеті (IoT) технологияларын құрылыс саласындағы қауіпсіздік деңгейін арттыру үшін қолдану қарастырылады. Құрылыс объектілеріндегі жазатайым оқиғалардың негізгі себептері талданып, IoT-құрылғыларына негізделген инновациялық шешімдер ұсынылады. Мысал ретінде қоршаған ортаны және жұмысшылардың жай-күйін бақылау үшін интеграцияланған сенсорлары бар «Smart Helmet» ақылды дулығасы қарастырылады. IoT-шешімдерінің артықшылықтары, олардың жарақаттануды азайтуға әсері және әртүрлі елдерде табысты енгізу мысалдары зерттелген. Жұмыста сондай-ақ IoT-жүйелерін енгізу тиімділігін бағалаудың әдіснамалық аспектілері қарастырылып, оларды Қазақстанда бейімдеу бойынша ұсыныстар беріледі.*

Кілт сөздер: *қауіпсіздік, IoT, құрылыс саласы, Smart Helmet, мониторинг, предиктивті талдау, жұмысшыларды қорғау, цифрландыру, технологиялық инновациялар, сенсорлар, предиктивті аналитика.*

Improving Construction Safety with IoT Technologies

[1]*SADVAKASSOVA Dana, *Master's Student, d.sadvakassova@aues.kz,*
[2]ZHUMAGALIYEV Abat, *Master's Degree, abat4567@gmail.com,*
[1]NPJSC «Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev», 126/1 A. Baitursynova Street, Almaty, Kazakhstan,
[2]LLC «Almaty Thermal Networks», 221 Baizakov Street, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The article examines the application of Internet of Things (IoT) technologies to enhance safety levels in the construction industry. The main causes of accidents at construction sites are analyzed, and innovative solutions based on IoT devices are proposed. As an example, the intelligent «Smart Helmet» with integrated sensors for environmental monitoring and worker condition assessment is considered. The advantages of IoT solutions, their impact on reducing injury rates, and examples of successful implementation in various countries are studied. The work also examines methodological aspects of evaluating the effectiveness of IoT system implementation and provides recommendations for their adaptation in Kazakhstan.*

Keywords: *safety, IoT, construction industry, Smart Helmet, monitoring, predictive analysis, worker protection, digitalization, technological innovations, sensors, predictive analytics.*

REFERENCES

1. Komitet po statistike Ministerstva natsional'noy ekonomiki Respubliki Kazakhstan. Statistika stroitel'stva I bezopasnosti truda [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: https://stat.gov.kz (data obrashcheniya: 29.05.2025).
2. Kim, J., Lee, S., Park, H. Wearable IoT sensors for occupational safety: A comprehensive review // Safety Science. – 2023. – Vol. 160. – P. 105184.
3. García, P., Alonso, J., Ramirez, F. Predictive analytics for workplace safety using machine learning // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2022. – Vol. 18, № 4. – Pp. 3760-3772.
4. Lee, M., Park, J. Integration of AI and IoT for Construction Safety // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 135. – P. 104188.
5. Li, X., Chen, W., Zhou, T. UAV-integrated IoT system for hazardous area monitoring in construction sites // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2024. – Vol. 38, № 2. – P. 04023065.
6. Kontseptsiya tsifrovoy transformatsii, razvitiya sfery informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiy I kiberbezopasnosti na 2023-2029 gody / Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 12 dekabrya 2022 goda № 986. – Astana, 2022. – 45 p.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_53 УДК 622.271:628.511

Исследование запыленности рабочей зоны при ведении открытых горных работ

[1]**БЕКМАГАМБЕТОВ Алимжан Бауржанович,** *к.ю.н., зам. генерального директора, adilet1979@mail.ru,*
[2]***САТТАРОВА Гульмира Сапаровна,** к.т.н., ассоциированный профессор, sattarovags@mail.ru,*
[1]**РАХМЕТОВА Анар Муратовна,** *к.м.н., доцент, ra_anar@mail.ru,*
[1]**НАСЫРОВА Гульмира Анатольевна,** *д.э.н., ассоциированный профессор, gnassyrova@yanddex.kz,*
[1]**ОМАРОВА Ардак Тлеужановна,** *региональный координатор ЕУМЦ, omarova_70@mail.ru,*
[1]РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда», ул. Кравцова, 18, Астана, Казахстан,
[2]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Исследования запыленности воздуха производились на одном из карьеров Карагандинской области основным видом деятельности, которого является добыча, переработка и обогащение железно-марганцевых и полиметаллических руд. Проблема запыленности рабочей зоны при ведении открытых горных работ является актуальной не только в области экологической безопасности, но и в области безопасности труда рабочих мест. Целью исследования являются оценка реальной пылевой нагрузки среды на рабочих карьера и разработка рекомендаций по эффективным методам пылеподавления при ведении открытых горных работ. На основе системного подхода проведена классификация источников пыли по различным признакам. По данным о фактической концентрации пыли на рабочих местах, которые были определены гравиметрическим (весовым) методом, проведена сравнительная оценка фактической и контрольной пылевой нагрузки. Предложенные способы борьбы с пылью предупреждают подъем пыли в воздух, образующиеся при взрывных, выемочных, погрузочных, разгрузочных и транспортных работах. Исследования проводились в рамках реализации научно-технической программы ИРН BR22182667 «Условия труда и профессиональные риски: классификация, категории и критерии группировки в рамках перехода к «зеленой экономике».*

***Ключевые слова:** пыль, карьер, пылевая нагрузка, источники пыли, способы борьбы с пылью, открытые горные работы.*

Введение

В настоящее время при открытой разработке месторождений полезных ископаемых применяются прогрессивные методы взрывных работ – многорядное короткозамедленное взрывание, взрывание высоких уступов и взрывание в зажатой среде. Внедрение данных методов позволило отбивать необходимое количество горной массы и значительно улучшить качество дробления негабаритов. Однако массовые взрывы сопровождаются образованием огромного количества пыли и газов, выделяемого в атмосферу карьеров. Выброс пыли из карьера может составлять от 5–16 т в сутки [1]. Пылегазовое облако ветром выносится из карьера, при этом пыль оседает на бортах и площадках карьера и на территории близлежащих поселков. В ветреную погоду мелкие фракции пыли могут улетать на десятки километров от карьера и загрязнять прилегающие территории. Особую опасность представляют штилевые дни, когда естественный воздухообмен карьера практически отсутствует. Ядовитые вещества и пыль, выделившиеся во время взрыва, могут часами оставаться в атмосфере карьера и препятствовать доступу работников на производственные участки. На карьерах причиной возникновения пыли также могут быть технологический транспорт, доставля-

ющий горную массу из забоя до дробильно-сортировочной установки, сами дробильно-сортировочные установки, а также процесс погрузки и разгрузки полезного ископаемого. Загрязнение атмосферного воздуха на карьерах приводит к росту числа легочных заболеваний горнорабочих и населения, проживающего вблизи карьеров. Поэтому исследования запыленности на открытых горных работах, в том числе на дорогах, являются весьма актуальными.

Проблеме пылеобразования и пылеподавления при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом посвящено большое количество научных работ. Образование пыли на угольных разрезах в основном зависит от степени метаморфизма углей. А именно при переходе от антрацитов к коксующимся углям пылевыделение увеличивается примерно в два раза. При эксплуатации карьеров значительным пылевыделением сопровождается процесс транспортировки горной массы. Пылеобразование на технологических автодорогах, по которым происходит транспортировка, возникает вследствие высыпания из кузова породы, полезного ископаемого, поднятия пыли колесами автомашин, переноса пылевых частиц ветром с прилегающих участков, а также износа дорожного покрытия и шин и т.д. Каримов С.М. в своей работе [2] отмечает, что на долю автомобильного транспорта приходится более 70% суммарного выделения пыли в атмосферу. Основным мероприятием по борьбе с пылью, уже находящейся в воздухе, является гидрообеспыливание. При этом рекомендуется применение гидромониторов, оросительных установок, установок для подавления пыли паром [3]. Ученые В.А. Малашкина и С.И. Кривошеева в своей работе [4] утверждают, что наиболее эффективны способы, предупреждающие поступление пыли в воздух, так как бороться с взвешенной пылью значительно труднее, чем предупредить ее подъем в воздух. Для предотвращения поднятия пыли в воздух учеными рекомендуется гидроподавление пыли с применением вяжущих веществ внутрикарьерных дорог и покрытия вяжущими растворами пылящих площадей. При выборе метода пылеподавления на карьерах Центрального Казахстана учеными рекомендуется учитывать сухие микроклиматические условия региона. Внедрение мероприятий по борьбе с пылью позволяет увеличить производительность труда, сократить потери полезного ископаемого, уменьшить износ горнотранспортного оборудования, снизить платежи за загрязнение окружающей среды. Таким образом, литературный обзор показал, что в настоящее время учеными изучается проблема пылеобразования на карьерах и ведутся разработки по прогрессивным средствам борьбы с пылью.

В данной статье представлены результаты исследования запыленности воздуха на одном из карьеров Карагандинской области, который специализируется на добыче полиметаллических руд – цинк и свинец. Карьер расположен в крайне засушливом районе. Незначительное количество осадков в виде дождя в летний-осенний период непосредственно влияет на уровень влажности горных пород. В свою очередь это сильно сказывается на интенсивности пылеобразования на рабочих местах. Поэтому борьба с пылью на данном карьере является одной из важных задач при создании безопасных условий труда работников.

Методы исследования

Для выявления и анализа источников пыли на производственных участках карьера в исследовании применялся системный подход, позволивший классифицировать источники по различным признакам. При расчете пылевой нагрузки среды применялись данные о фактической концентрации пыли на рабочих местах, которые были определены гравиметрическим (весовым) методом в рамках обязательной периодической аттестации производственных объектов по условиям труда.

Анализ источников пыли при ведении открытых горных работ

Для добычи полиметаллических руд на исследуемом карьере организованы следующие производственные участки: экскаваторный участок, транспортный участок, участок буровзрывных работ, участок водоотлива. Работники данных участков постоянно сталкиваются с рядом вредных производственных факторов, таких как высокая запыленность и загазованность рабочих зон, экстремальные метеорологические условия (повышенные температуры и низкая влажность воздуха), а также воздействие общей и локальной вибрации и высокого уровня шума. Поэтому для оценки санитарно-гигиенического состояния условий труда на каждом участке проведены измерения по вышеперечисленным факторам производственной среды.

Результаты замеров показали, что на всех рабочих местах отмечается превышение предельно допустимого уровня по показателям шума и вибрации. На производственных участках шум обусловлен функционированием горной техники и её механизмов. Воздействиям общей вибрации подвержены в основном машинисты экскаваторов, авто-

самосвалов и буровых станков. Содержание вредных веществ в воздухе на всех участках соответствует норме.

Предельно допустимая концентрация пыли на экскаваторном, буровзрывном и транспортном участках превышает норму. Пыль на рабочих местах образуется в большинстве технологических процессов: дробление и раскалывание, экскавация, погрузка, разгрузка, бурение и взрывание горных пород; передвижение горного транспорта. На участке водоотлива превышение ПДК по пыли отсутствует. Данный факт объясняется тем, что данный участок расположен на значительном расстоянии от потенциальных источников возникновения пыли.

Содержание пыли в карьере также зависит от климатических условий района. Исследуемый карьер расположен в полупустынном районе с засушливым, жарким климатом, где количество осадков в виде дождя в летний-осенний период в среднем равен 14 мм. Поэтому в этот период запыленность воздуха в карьере повышается и может достигать – 6-8 мг/м^3.

Анализ технологического процесса разработки полезных ископаемых открытым способом позволил определить источники выделения пыли. При ведении открытых горных работ пыль возникает непосредственно с поверхности рабочей площади в результате экскавационных, буровзрывных, погрузочных, разгрузочных, и транспортных работ. То есть основными местами возникновения производственной пыли на исследуемом карьере являются участок экскавации или экскаваторные забои, участок ведения буровзрывных работ и транспортный участок (автодороги). Так, при выемке горной породы или полезного ископаемого и погрузке в автосамосвалы экскаваторами в забоях образуется пылевое облако, особенно в летний период времени. Буровые станки на участке буровзрывных работ образуют большое количество пыли при бурении и особенно при продувке скважин. Стоит отметить, что наибольшее выделение пыли возникает при взрывных работах и достаточно долго приходится ждать, когда пылевое облако выветрится из рабочей зоны карьера. Для вывоза горной массы используются автосамосвалы. При движении груженых или порожних машин по автодорогам карьера образуется пыли. Кроме того, во время движения гружёных машин, с шапки груза сдувается некоторое количество пыли.

По происхождению пыль на исследуемом карьере является неорганической. По взрывоопасности пыль относится к невзрывчатой. По вредности породная пыль относится к неядовитой, а свинцовая и цинковая пыль – к ядовитой пыли. В зависимости от геологической особенности залегания полезного ископаемого и горных пород состав неорганической пыли постоянно меняется. Исследуемый карьер специализируется на добыче полиметаллов, таких как свинец и цинк. Поэтому на производственных участках преобладает смешанная пыль с различными примесями минералов и металлов цинка и свинца. Как видно из таблицы 1, в состав карьерной пыли входят различные пыли горной породы и диоксид кремния. Диоксид кремния замерялся как отдельное вредное вещество. Согласно проведённым измерениям, в рабочей зоне карьера диоксид кремния составляет 30% от общей массы пылевых частиц, т.е. почти треть пыли состоит из этого опасного для здоровья работников вещества. Высокая доля диоксида кремния повышает риск развития силикоза.

В зависимости от размера пыли и ее вида, у работников, контактирующих с этой пылью, могут возникнуть заболевания органов дыхания. Крупнодисперсная пыль (больше 10 мкм), подчиняясь второму закону Ньютона, быстро выпадают из воздуха вследствие возрастающего ускорения под влиянием силы тяжести. При вдыхании частицы пыли задерживаются в верхних отделах дыхательных путей. Среднедисперсная пыль (от 5 до 10 мкм) может задерживаться в слизистой оболочке верхних дыхательных путей и может привести к заболеваниям, таким как воспаление дыхательных путей, пылевой бронхит и астма. Тонкодисперсная пыль (меньше 1 мкм) проникает в альвеолы легких и со временем накапливается в там. При работе в запыленной среде с высокой концентрацией мелкодисперсной пыли всегда существует риск развития пневмокониоза.

Во время ведения выемочных, погрузочных и буровзрывных работ на рабочих участках образуется крупнодисперсная и среднедисперсная пыль, а при транспортировке горной массы образуется среднедисперсная и тонкодисперсная пыль. При вдыхании тонкодисперсной пыли, в составе которой присутствует диоксид кремния, существует риск развития силикоза.

Производственная пыль, выделяющаяся в процессе ведения горных работ, также оказывает неблагоприятное влияние на технологический процесс, нарушая работу оборудования, так как: во-первых, попадание на передаточные механизмы, трущиеся детали машин, частицы пыли вызывают их быстрый износ, что может привести к аварии; во-вторых, осаждение пыли на поверхности нагрева и охлаждения ухудшает условия теплообмена и может привести к наруше-

нию работы оборудования; в-третьих, осаждение пыли на электродвигателях и другом электрооборудовании, а также на изоляторах может привести к нарушению их работы и даже авариям из-за короткого замыкания, перегрева оборудования, вызванного ухудшением теплообмена. При высокой концентрации мелкодисперсного состава пыли на рабочем месте, у работников ухудшается видимость рабочих мест, горного оборудования и техники, так как мелкодисперсная пыль имеет свойство находиться во взвешенном состоянии в воздухе продолжительное время в виде пылевого облака.

Определение индивидуальной пылевой нагрузки работников карьера

В условиях повышенной запыленности на рабочих местах необходимо знать степень воздействия производственной пыли на органы дыхания работающих. Степень воздействия определяется с помощью пылевой нагрузки за весь период реального или предполагаемого контакта с фактором. Пылевая нагрузка на органы дыхания работающего – это реальная или прогностическая величина суммарной экспозиционной дозы пыли, которую рабочий вдыхает за весь период фактического или предполагаемого профессионального контакта с фактором.

Пылевая нагрузка на органы дыхания рабочего рассчитывалась, исходя из фактических среднесменных концентраций пыли в воздухе рабочей зоны, объема легочной вентиляции (зависящего от тяжести труда) и продолжительности контакта с пылью. Полученные значения фактической пылевой нагрузки сравнивались с величиной контрольной пылевой нагрузки, значение которой рассчитано в зависимости от фактического или предполагаемого стажа работы, предельно допустимой концентрации пыли и категории работ. В таблице 1 представлены исходные данные для расчета пылевой нагрузки по основным рабочим местам карьера. В таблице 2 представлены результаты расчета величин фактической и контрольной пылевой нагрузки (КПН) на каждое рабочее место и превышение КПН для каждого работника.

Из таблицы 2 видно, что на исследуемых рабочих местах фактическая пылевая нагрузка превышает контрольную. Данные результаты указывают на то, что пылевая нагрузка каждого работника на карьере превышает соответствующие нормы. Наибольшее превышение КПН наблюдается у машиниста экскаватора и его помощника, наименьшее – у персонала насосной установки. Учитывая состав карьерной пыли и её физико-химические свойства, работа на исследуемом карьере в условиях повышенной пылевой нагрузки в течение длительного периода времени приводит к развитию силикоза.

Для снижения риска развития профессиональных заболеваний на карьере применяют средства индивидуальной защиты (очки, противогазы, респираторы, спецодежду, обувь, мази). На горных машинах и механизмах применяют устройства для борьбы с пылью, которыми эти машины комплектуются заводом-изготовителем. Кабины горного и транспортного оборудования герметизированы и оборудованы кондиционерами для очистки и кондиционирования воздуха, но данные способы не обладают высокой эффективностью.

Необходимо применение на карьере технологий пылеподавления на стадии возник-

Таблица 1 – Расчетные показатели по пылевой нагрузке на каждого человека

Рабочее место	Фактическая концентрация пыли, мг/м³	Число рабочих смен	Кол-во лет контакта с пылью	Объем лег. вентиляции за смену, м³
Машинист экскаватора	7,6	165	5	10
Помощник машиниста экскаватора	7,69	176	5	7
Машинист буровой установки	7,23	88	5	10
Помощник машиниста буровой установки	7,05	88	5	7
Машинист автосамосвала	6,42	165	5	10
Машинист бульдозера	6,69	165	5	10
Машинист автогрейдера	6,13	110	5	10
Персонал насосной установки	5,54	121	5	10

Таблица 2 – Расчет фактической и контрольной пылевой нагрузки на каждое рабочее место

Рабочее место	Пылевая нагрузка	Контрольная пылевая нагрузка	Превышение КПН
Машинист экскаватора	62700	49500	1,26
Помощник машиниста экскаватора	47370	36960	1,38
Машинист буровой установки	31812	26400	1,2
Помощник машиниста буровой установки	21714	18480	1,17
Машинист автосамосвала	52965	49500	1,07
Машинист бульдозера	55193	49600	1,11
Машинист автогрейдера	33715	33000	1,02
Персонал насосной установки	33517	36300	0,92

новения производственной пыли. Учитывая особенности микроклимата в районе расположения карьера рекомендуется применять способы борьбы с пылью, предупреждающие ее появление в рабочей зоне. Так, например, учитывая результаты анализа источников пыли, рекомендуется на экскаваторном и транспортном участках, применять мокрый способ пылеподавления. Для снижения запыленности рабочей атмосферы на участках экскавации горной породы и при погрузочно-разгрузочных работах на карьере рекомендуется применять пушки пылеподавления, так как мокрый способ борьбы с пылью данными установками или аналогами на участках горных работ отсутствует. Перед началом работ орошается поверхность забоя, затем водяной факел направляется на место черпания навалов экскаваторным ковшом. Применение оросительной системы при погрузочных и разгрузочных работах позволит в несколько раз снизить запыленность воздуха в кабинах машинистов горной техники.

Карьерные автодороги рекомендуется поливать мыльной водой из поливочных машин, автосамосвалы должны быть оборудованы системой водополива автодороги. На участке буровзрывных работ рекомендуется внедрять технологию пылеподавления воздушно-механической пеной. Слоем пены можно изолировать источники пылеобразования и воспрепятствовать переходу пыли во взвешенное состояние и распространению ее в воздушную среду.

Выводы

В статье представлены результаты исследований пылевого фактора на одном из карьеров Карагандинской области. В ходе анализа источников пыли установлено, что основными местами возникновения производственной пыли на исследуемом карьере являются участок экскавации или экскаваторные забои, участок ведения буровзрывных работ и транспортный участок (автодороги). По происхождению пыль является неорганической, преобладает смешанная пыль с различными примесями минералов и металлов цинка и свинца. В рабочей зоне карьера содержание диоксида кремния составляет 30% от общей массы пылевых частиц. По вредности породная пыль относится к неядовитой, а свинцовая и цинковая пыль – к ядовитой пыли.

В статье определена индивидуальная пылевая нагрузка работников карьера. Наибольшее превышение КПН наблюдается у машиниста экскаватора и его помощника, наименьшее – у персонала насосной установки. Для снижения риска развития профессиональных заболеваний органов дыхания рекомендуется применение на карьере мокрого способа пылеподавления на стадии возникновения производственной пыли, а также внедрять технологию пылеподавления воздушно-механической пеной. Данные способы борьбы с пылью предупреждают подъем пыли в воздух, образующиеся при взрывных, выемочных, погрузочных, разгрузочных и транспортных работах. Рекомендуемые мероприятия по снижению загрязнения воздуха в карьерах обеспечивают снижение риска развития профзаболеваний, а также задачи уменьшение вредного влияния горных работ на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драгунский, О.Н. О путях решения проблем аэрологии карьеров и охраны атмосферы при постоянном увеличении глубины открытых горных работ / О.Н. Драгунский, К.С. Коликов, М. Ривкин // Золото и технологии. – 2022. – № 4 (58) / декабрь. https://zolteh.ru/ekspluatatsiya-mestorozhdeniy/o-putyakh-resheniya-problem-aerologii-karerov-i-okhrany-atmosfery-pri-postoyannom-uvelichenii-glubin/ (дата обращения 25.02.2025).
2. Каримов, С.М. Оценка воздействия на окружающую среду при добыче и измельчении сырья на карьере «Харангон» ОАО «Таджикцемент» / С.М. Каримов // Вестник педагогического университета (Естественные науки). – 2022. – № 4 (16). – С. 77-83.
3. Чемезов, Е.Н. Борьба с пылью на открытых горных работах» / Е.Н. Чемезов, Е.Г. Делец // Научно-технический журнал «Вестник». Пожарная и промышленная безопасность. № 1. 2017. С. 42-46.
4. Малашкина, В.А. Обзор способов и средств снижения профессиональной заболеваемости пылевой этиологии на гранитных карьерах Центрального Казахстана / В.А. Малашкина, С.И. Кривошеева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 5. – С. 323-330.

Ашық тау-кен жұмыстарын жүргізу кезінде жұмыс аймағының шаңдануын зерттеу

[1]БЕКМАҒАМБЕТОВ Алимжан Бауржанович, *з.ғ.к., бас директордың орынбасары, adilet1979@mail.ru,*
[2]*САТТАРОВА Гульмира Сапаровна, *т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, sattarovags@mail.ru,*
[1]РАХМЕТОВА Анар Муратовна, *м.ғ.к., доцент, ra_anar@mail.ru,*
[1]НАСЫРОВА Гульмира Анатольевна, *э.ғ.д., қауымдастырылған профессор, gnassyrova@yanddex.kz,*
[1]ОМАРОВА Ардак Тлеужановна, *КҚО аймақтық үйлестірушісі, omarova_70@mail.ru,*
[1]«Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Кравцова көшесі, 18, Астана, Қазақстан,
[2]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Ауаның шаңдануын зерттеу Қарағанды облысының карьерлерінің бірінде жүргізілді, оның негізгі қызметі темір-марганец және полиметалл кендерін өндіру, өңдеу және байыту болып табылады. Ашық тау-кен жұмыстарын жүргізу кезінде жұмыс аймағының шаңдану проблемасы экологиялық қауіпсіздік саласында ғана емес, жұмыс орындарының еңбек қауіпсіздігі саласында да өзекті болып табылады. Зерттеудің мақсаты-жұмысшыларға қоршаған ортаның нақты шаң жүктемесін бағалау карьер және ашық тау-кен жұмыстарын жүргізу кезінде шаңды басудың тиімді әдістері бойынша ұсыныстар әзірлеу. Жүйелік тәсіл негізінде шаң көздерін әртүрлі белгілер бойынша жіктеу жүргізілді. Гравиметриялық (салмақ) әдіспен анықталған жұмыс орындарындағы шаңның нақты концентрациясы туралы мәліметтер бойынша нақты және бақылау шаң жүктемесін салыстырмалы бағалау жүргізілді. Шаңмен күресу әдістері жарылғыш, қазу, тиеу, түсіру және тасымалдау жұмыстары кезінде пайда болатын шаңның ауаға көтерілуіне жол бермейді. Зерттеулер BR22182667 «Еңбек жағдайлары және кәсіптік тәуекелдер: «жасыл экономикаға» көшу шеңберінде топтастырудың жіктелуі, санаттары мен критерийлері» ЖРН ғылыми-техникалық бағдарламасын іске асыру шеңберінде жүргізілді.*

Кілт сөздер: *шаң, карьер, шаң жүктемесі, шаң көздері, шаңмен күресу жолдары, ашық тау-кен жұмыстары.*

Investigation of the Dustiness of the Working Area During Open-pit Mining

[1]BEKMAGAMBETOV Alimzhan, *Cand. of Law Sc., Deputy General Director, adilet1979@mail.ru,*
[2]*SATTAROVA Gulmira, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, sattarovags@mail.ru,*
[1]RAKHMETOVA Anar, *Cand. of Med. Sc., Associate Professor, ra_anar@mail.ru,*
[1]NASYROVA Gulmira, *Dr. of Econ. Sc., Associate Professor, gnassyrova@yanddex.kz,*
[1]OMAROVA Ardak, *Regional Coordinator UEMC, omarova_70@mail.ru,*
[1]RSE on PCV «Republic Research Institute for Occupational Safety and Health», 18 Kravtsova Street, Astana, Kazakhstan,
[2]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *Studies of air dust were carried out at one of the quarries of the Karaganda region, the main activity of which is the extraction, processing and enrichment of iron-manganese and polymetallic ores. The problem of dust in the work area during open-pit mining is relevant not only in the field of environmental safety, but also in the field of workplace safety. The purpose of the study is to assess the real dust load of the environment on the workers of the quarry and to develop recommendations on effective methods of dust suppression in open-pit mining. Based on a systematic approach, dust sources are classified according to various criteria. According to the data on the actual dust concentration in the workplace, which were determined by the gravimetric (weight) method, a comparative assessment of the actual and control dust loads was carried out. Methods of dust control are proposed to prevent the rise of dust into the air formed during blasting, excavation, loading, unloading and transportation operations. Research conducted within the framework of implementation of scientific and technical program IRN BR22182667 «Working conditions and occupational risks: classification, categories and criteria of grouping in the framework of the transition to a «green economy».*

Keywords: *dust, quarry, dust load, dust sources, dust control methods, open-pit mining.*

REFERENCES

1. Dragunskij, O.N. O putyah resheniya problem aerologii kar'erov i ohrany atmosfery pri postoyannom uvelichenii glubiny otkrytyh gornyh rabot / O.N. Dragunskij, K.S. Kolikov, M. Rivkin // Zoloto i tekhnologii. – 2022. – № 4 (58) / dekabr'. https://zolteh.ru/ekspluatatsiya-mestorozhdeniy/o-putyakh-resheniya-problem-aerologii-karerov-i-okhrany-atmosfery-pri-postoyannom-uvelichenii-glubin/ (дата обращения 25.02.2025).
2. Karimov, S.M. Ocenka vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu pri dobyche i izmel'chenii syr'ya na kar'ere «Harangon» OAO «Tadzhikcement» / S.M. Karimov // Vestnik pedagogicheskogo universiteta (Estestvennye nauki). – 2022. – № 4 (16). – Pp. 77-83.
3. Chemezov, E.N. Bor'ba s pyl'yu na otkrytyh gornyh rabotah» / E.N. CHemezov, E.G. Delec // Nauchno-tekhnicheskij zhurnal «Vestnik». Pozharnaya i promyshlennaya bezopasnost'. № 1, 2017. Pp. 42-46.
4. Malashkina, V.A. Obzor sposobov i sredstv snizheniya professional'noj zabolevaemosti pylevoj etiologii na granitnyh kar'erah central'nogo Kazahstana / V.A. Malashkina, S.I. Krivosheeva // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. – 2017. – № 5. – Pp. 323-330.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_60 УДК 550.835.2(574.3)

Радонометрические исследования Шубаркольского месторождения

МУРТАЗИНА Фариза Ермахамбетовна, *докторант, farizakhy@gmail.com,*
****ЕФРЕМОВА Светлана Сергеевна,*** *преподаватель, svetik_1976@bk.ru,*
ШМИДТ-ФЕДОТОВА Ирина Михайловна, *PhD, преподаватель, irinka.shmidt@mail.ru,*
БЕЛГІБАЕВ Қайрат Игібайұлы, *докторант, belgibayev_k@mail.ru,*
НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,

**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Представлены результаты радонометрических исследований на прибортовых участках Шубаркольского месторождения угля. Рассматриваются механизмы формирования аномалий радоновых эманаций в зонах тектонических разломов. Радон концентрируется в разломных структурах, что позволяет использовать его для картирования тектонических нарушений. Исследования проводились методом эманационной съемки с использованием радиометров РГА-500. Измерения выполнялись по профильным линиям, выявляющим потенциальные зоны тектонической подвижности. Для минимизации внешних влияний учитывались состав пород, покровные отложения, уровень грунтовых вод и влажность почвы. Результаты позволили детализировать зоны структурного ослабления массива и подтвердили их параметры, определённые другими геофизическими методами. Установлена связь концентрации радона с амплитудой микросейсмических колебаний. Метод эманационной съемки доказал эффективность для прогнозирования деформационных процессов и оценки устойчивости бортов разреза.*

Ключевые слова: *радонометрия, эманационная съемка, тектонические разломы, геодинамическая активность, структурное ослабление, объемная активность радона, почвенный воздух, разрывные нарушения, микросейсмические колебания, нормирование данных, картирование, буровзрывные работы, геофизические методы.*

Введение

Природа и механизм образования аномалий эманаций радона над тектоническими дизъюнктивными зонами связаны с современной геодинамической активностью. Свойства радона и условия, формирующиеся между временно консолидированными блоками горного массива, обеспечивают картину распределения этих участков. Радон в данном случае выступает в роли природного индикатора.

Методы исследования

Генерация радона в горных породах происходит непрерывно. Как и материнские радионуклиды, радон присутствует в разных количествах во всех горных породах. Через поры и микротрещины радон перемещается под влиянием диффузного, конвективного и эффузионного механизмами распространения перемещается, как и другие газы, в земной коре и аккумулируется в зонах тектонических нарушений. Еще одной причиной формирования аномалий радона, также вызванных повышенной проницаемостью подвижных разломных зон, может быть увеличение концентрации материнских радиоэлементов, в частности радия, что связано со вторичными скоплениями в трещинах и на контактах нарушенных пород. Переотложенные радийсодержащие соединения активно сорбируются выветрелыми до глинистого состояния породами разломной зоны и также принимают участие в формировании аномалий радона.

Установлено, что под влиянием вибраций наблюдается повышение интенсивности выделения радона из горных пород, причем дифференцированное в зависимости от частоты вибровоздействия. Исходя из этого, аномалии объемной активности радона надразломных зон можно рассматривать как признак подвижности этих структур независимо от мощности осадочных пород. Аномалии радона при значительных толщах осадочных пород связаны, в большей степени, с повышенным выделением радона из пород

осадочного комплекса, входящих в зону геодинамического влияния этого нарушения [1,2].

Таким образом, формируются аномалии радоновых эманаций над участками тектонических разломов, а значения радоновых эманаций непосредственно зависят от степени развития открытой трещиноватости и интенсивности вибровоздействия, являющихся проявлением современной геодинамической активности.

Глубинность картирования тектонических структур интенсивностью современных геодинамических процессов, активизирующих радоновые эманации из покровных отложений [3]. Измерения объемной активности радона (Бк/м^3) в почвенном воздухе выполняются радиометрами альфа-активных газов РГА-500 по профильным линиям из шпуров, глубиной 0,8 – 1,0 м.

С целью определения геодинамической составляющей формирования поля радона, выполняется нормирование значений объемной активности радона в почвенном воздухе. Для этого полученные в результате измерений значения объемной активности радона группируются по принадлежности к однотипным участкам:

- по вещественному составу горных пород;
- по диффузионным свойствам покровных отложений;
- по положению уровня грунтовых вод;

Кроме того, при группировании учитывается временной период измерений.

Рассчитываются нормированные значения объемной активности радона для каждой точки измерения группы:

$$N_i = Q_i / Q_{\text{ср.группы}}, \qquad (1)$$

где N_i – нормированная объемная активность радона точки измерения i, безразмерная величина;
Q_i – значение объемной активности радона в почвенном воздухе точки измерения на профильной линии, Бк/м^3;
$Q_{\text{ср.группы}}$ – среднеарифметическое значение объемной активности радона в почвенном воздухе группы значений, Бк/м^3.

Составляется карта распределения нормированных значений объемной активности радона в почвенном воздухе изучаемой территории, на основе которой осуществляется её геодинамическое районирование [4].

При помощи нормирования устраняется влияние нетектонических факторов, выделяется геодинамическая составляющая формирования поля радона, тем самым позволяя использовать результаты эманационной съемки для ранжирования трещиноватых участков по степени современной геодинамической активности и по степени деформирования [5].

Радонометрия выполнялась на дневной поверхности прибортовой зоны в створе и параллельно экспериментальным участкам для решения задач:

- выявление и дифференциация зон структурного ослабления с целью подтверждения результатов других геофизических методов, применяемых непосредственно на выемочных блоках, повышения информативности и достоверности исследований в целом;
- изучение и демонстрация возможностей эманационной съемки в условиях горного массива Шубаркольского месторождения угля для опережающего определения структурно-геодинамической модели прибортового массива, определения индекса геодинамической активности выявленных деформационных участков.

Эманационная съемка выполнена на прибортовых участках №№ 1; 2; 3, в створе и параллельно экспериментальным выемочным блокам [6].

Картина поля радоновых эманаций отражает блочную структуру исследуемых участков горного массива месторождения, с четким выделением геодинамически активных межблоковых пространств – разрывных нарушений. Результаты радонометрии отражают дифференциацию изучаемых участков массива по степени структурного ослабления, современной геодинамической активности и отражают их пространственные параметры [7].

Прибортовой участок радонометрических исследований №1 (в створе и параллельно экспериментальному блоку №1 (2В чистый, Западный разрез).

На участке выполнены измерения объемной активности радона по двум профильным линиям Ir–Ir и IIr–IIr в меридиональном направлении, протяженностью 200 м. Расстояние между профильными линиями 30 м. Расстояние между точками измерения 10 м (рисунок 1).

По данным радонометрии, в целом по участку исследований значения концентрации радона в почвенном воздухе изменяются от 363Бк/м^3 до 4138 Бк/м^3. Нормированные значения объемной активности радона изменяются от 0,3 до 2,1. Основные разрывные нарушения имеют азимут простирания 60°.

Прибортовой участок радонометрических исследований №2. На участке выполнены измерения объемной активности радона по двум профильным линиям IIIr–IIIr и IVr–IVr в широтном направлении, протяженностью 300 м. Расстояние между профилями 30 м.

Расстояние между точками измерения 10 м (рисунок 2).

По данным радонометрии, по участку исследований значения концентрации радона в почвенном воздухе изменяются от 145 Бк/м^3 до 1960 Бк/м^3. Нормированные значения объемной активности радона изменяются от 0,2 до 2,8. Основные разрывные нарушения имеют азимут простирания 300°.

На участке №3 выполнены измерения объемной активности радона по двум профильным линиям Vr–Vr и VIr–VIr в широтном направлении, протяженностью 200 м. Расстояние между профильными линиями 30 м. Расстояние между точками измерения 10 м (рисунок 3).

По данным радонометрии, в целом по участку исследований значения концентра-

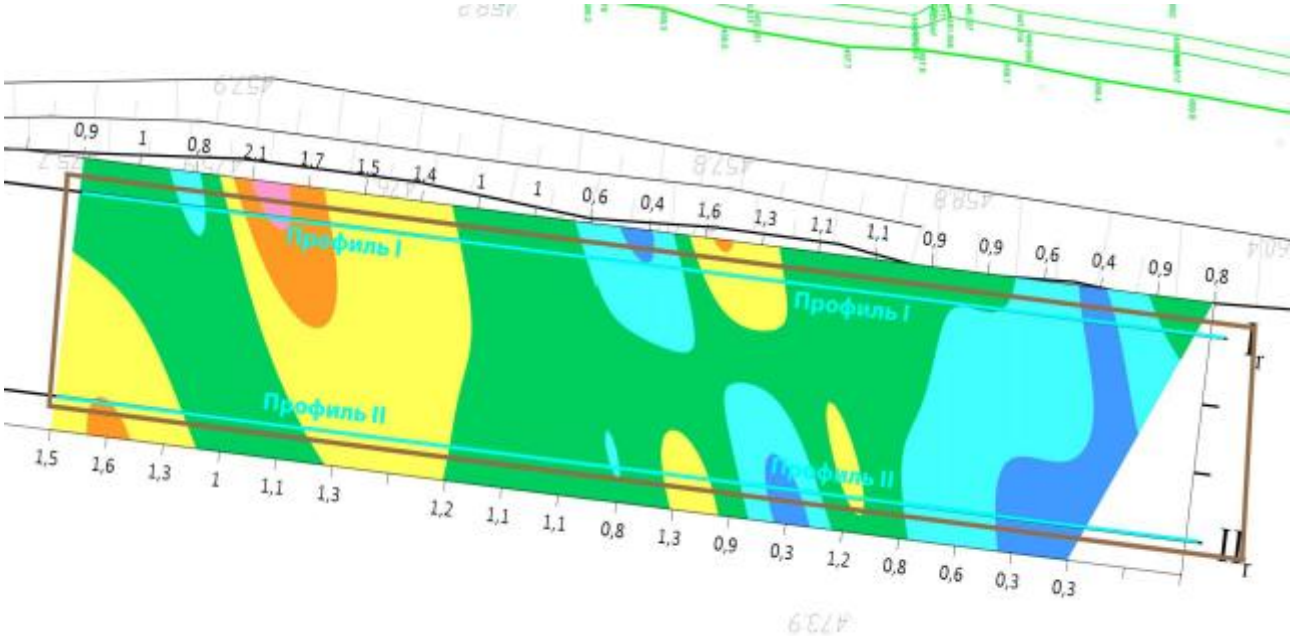


Рисунок 1 – Результаты радонометрических профилей на прибортовом участке № 1

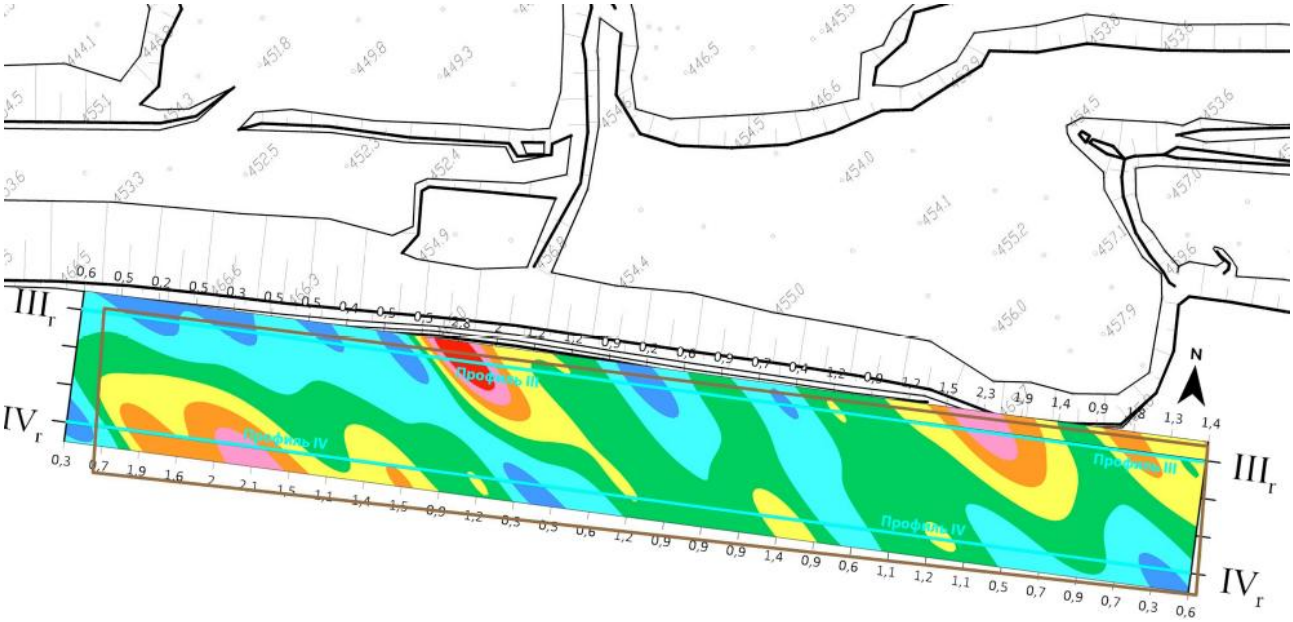


Рисунок 2 – Схема расположения профилей радонометрии с результатами на прибортовом участке № 2

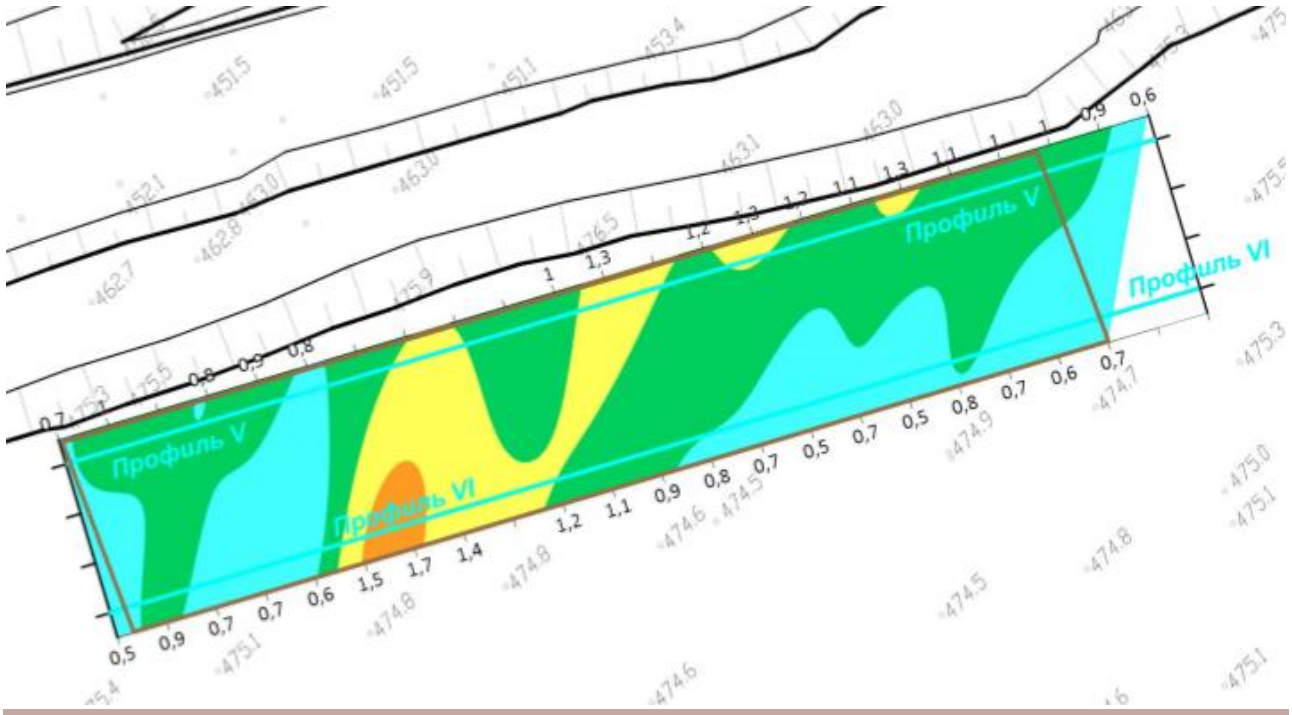


Рисунок 3 – Результаты измерений участка № 3

ции радона в почвенном воздухе изменяются от 835 Бк/м^3 до 3703 Бк/м^3. Нормированные значения объемной активности радона изменяются от 0,5 до 1,7 [8]. Основные нарушения имеют азимут простирания 15°.

Выводы

1. Использование эманационной съемки на прибортовых участков в створе экспериментальных выемочных блоков выполнялось в качестве заверочного метода при определении геомеханического состояния горного массива.

2. Результаты исследований подтвердили пространственные параметры зон структурного ослабления, полученные другими геофизическими методами непосредственно на выемочных блоках.

3. Кроме того, учитывая оперативность, результативность и достоверность метода, результаты эманационной съемки по районированию массива горных пород по степени структурного ослабления могут быть востребованы для определения оптимальных параметров БВР при удалении перекрывающих полускальных пород вскрыши, при решении вопроса устойчивости бортов разреза.

Благодарность

Исследование профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования по реализации научной, научно-технической программы ИРН № BR24993009.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбушина Л.В., Рябоштан Ю.С. Эманационный метод индикации геодинамических процессов при инженерно-геологических изысканиях // Советская геология. 1975. № 4. С. 48-50.
2. Адушкин В.В., Спивак А.А., Кожухов С.А., Кукушкин Ю.В. Резонансные особенности эсхаляции природного радона // ДАН. 2005. Т. 400. № 3. С. 369-371.
3. Далатказин Т.Ш. Использование радонометрии при изучении современной геодинамики на территориях, перекрытых мощным чехлом осадочных пород для решения задачи обеспечения безопасной эксплуатации объектов недропользования // Горный информационно-аналитический бюлле-

тень. 2011. № 7. С. 97-100.
4. Далатазин Т.Ш. Трансформация поля радоновых эманаций в зоне техногенного воздействия горных работ при отработке Южной залежи Песчанской группы месторождений // Проблемы недропользования [электрон.ресурс]: рецензир. сб. научн. статей: ИГД УрО РАН. 2015. № 1. С. 13-19.
5. Подымов И.С., Подымова Т.М. Мониторинг состояния гидрогеодеформационного поля по плотности потока радона из грунта // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2016. № 1. С. 56-62.
6. Сухоруков М.В., Спивак А.А. Пространственно-временные особенности поля радона в связи с тектоническими структурами // Успехи современного естествознания. 2017. № 1. С. 94-99.
7. Стась Г.В., Арди М.Н. Геологические условия, определяющие формирование радиационной обстановки // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2015. № 1. С. 93-100.
8. Jianwei Cheng, Yan Wu, Haiming Xu, Jin Liu, Yekang Yang, Huangjun Deng, Yi Wang. Comprehensive and Integrated Mine Ventilation Consultation Model – CIMVCM // Tunnelling and Underground Space Technology. 2015. Volume 45. Pp. 166-180.

Шұбаркөл кен орнын радонометриялық зерттеу

МУРТАЗИНА Фариза Ермахамбетқызы, *докторант, farizakhy@gmail.com,*
****ЕФРЕМОВА Светлана Сергеевна,*** *оқытушы, svetik_1976@bk.ru,*
ШМИДТ-ФЕДОТОВА Ирина Михайловна, *PhD, оқытушы, irinka.shmidt @mail.ru,*
БЕЛГІБАЕВ Қайрат Игібайұлы, *докторант, belgibayev_k@mail.ru,*
«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,

**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Шұбаркөл көмір кен орнының аспаптық учаскелеріндегі радонометриялық зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Тектоникалық ақаулар аймақтарында радон эманациясының ауытқуларын қалыптастыру механизмдері қарастырылады. Радон ақаулы құрылымдарда шоғырланған, бұл оны тектоникалық бұзылуларды картаға түсіру үшін пайдалануға мүмкіндік береді. Зерттеулер РГА-500 радиометрлерін қолдана отырып, эманациялық зерттеу әдісімен жүргізілді. Өлшеулер тектоникалық қозғалғыштықтың ықтимал аймақтарын анықтайтын профиль сызықтары бойынша жүргізілді. Сыртқы әсерлерді азайту үшін тау жыныстарының құрамы, жабын шөгінділері, жер асты суларының деңгейі және топырақтың ылғалдылығы ескерілді. Нәтижелер массивтің құрылымдық әлсіреу аймақтарын егжей-тегжейлі көрсетуге мүмкіндік берді және олардың басқа геофизикалық әдістермен анықталған параметрлерін растады. Радон концентрациясының микросейсмикалық тербелістердің амплитудасымен байланысы анықталды. Эманациялық түсіру әдісі деформациялық процестерді болжау және кесу тақталарының тұрақтылығын бағалау үшін тиімді екенін дәлелдеді.*

Кілт сөздер: *радонометрия, эманациялық зерттеу, тектоникалық бұзылулар, геодинамикалық белсенділік, құрылымдық әлсіреу, радон көлемінің белсенділігі, топырақ ауасы, бұзылулар, микросейсмикалық тербеліс, деректерді нормалау, картаға түсіру, бұрғылау және жару жұмыстары, геофизикалық әдістер.*

Radonometric Studies of the Shubarkolskoye Field

MURTAZINA Fariza, *Doctoral Student, farizakhy@gmail.com,*
****EFREMOVA Svetlana,*** *Teacher, svetik_1976@bk.ru,*
SHMIDT-FEDOTOVA Irina, *PhD, Teacher, irinka.shmidt @mail.ru,*
BELGIBAEV Kairat, *Doctoral Student, belgibayev_k@mail.ru,*
NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,

*corresponding author.

Abstract. *The article presents the results of radonometric studies at the instrument sites of the Shubarkol coal deposit. The mechanisms of formation of radon emanation anomalies in tectonic fault zones are considered. Radon is concentrated in fault structures, which makes it possible to use it for mapping tectonic disturbances. The research was carried out by the method of emanation survey using RGA-500 radiometers. The measurements were carried out along profile lines, revealing potential zones of tectonic mobility. To minimize external influences, the composition of rocks, cover deposits, groundwater level and soil moisture were taken into account. The results made it possible to detail the zones of structural weakening of the massif and confirmed their parameters determined by other geophysical methods. A relationship between the radon concentration and the amplitude of microseismic oscillations has been established. The method of emanation survey has proven effective for predicting deformation processes and assessing the stability of the sides of the section.*

Keywords: *radonmetry, emanation survey, tectonic faults, geodynamic activity, structural weakening, radon volume activity, soil air, faults, microseismic vibrations, data normalization, mapping, drilling and blasting operations, geophysical methods.*

REFERENCES

1. Gorbushina L.V., Ryaboshtan Yu.S. An emanation method for indicating geodynamic processes in engineering and geological surveys // Soviet Geology. 1975. № 4. Pp. 48-50.
2. Adushkin V.V., Spivak A.A., Kozhukhov S.A., Kukushkin Yu.V. Resonant features of natural radon escalation // Reports of the Academy of Sciences. 2005. Volume 400. № 3. Pp. 369-371.
3. Dalatkazin T.Sh. The use of radonometry in the study of modern geodynamics in territories covered by a thick cover of sedimentary rocks to solve the problem of ensuring the safe operation of subsurface use facilities // Mining information and analytical bulletin. 2011. № 7. Pp. 97-100.
4. Dalatkazin T.Sh. Transformation of the radon emanation field in the zone of anthropogenic impact of mining operations during the development of the Southern deposit of the Peschanskaya group of deposits // Problems of subsurface use [electronic resource]: a peer-reviewed collection of scientific articles: Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2015. № 1. Pp. 13-19.
5. Podymov I.S., Podymova T.M. Monitoring of the state of the hydrogeodeformation field by radon flux density from the ground // Environmental safety of the coastal and offshore zones of the sea. 2016. № 1. Pp. 56-62.
6. Sukhorukov M.V., Spivak A.A. Spatial and temporal features of the radon field in connection with tectonic structures // The successes of modern natural science. 2017. № 1. Pp. 94-99.
7. Stas' G.V., Ardi M.N. Geological conditions determining the formation of the radiation environment // Izvestia Tula State University. Earth Sciences. 2015. № 1. Pp. 93-100.
8. Jianwei Cheng, Yan Wu, Haiming Xu, Jin Liu, Yekang Yang, Huangjun Deng, Yi Wang. Comprehensive and Integrated Mine Ventilation Consultation Model – CIMVCM // Tunnelling and Underground Space Technology. 2015. Volume 45. Pp. 166-180.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_66 УДК 331.45

Анализ состояния производственного травматизма среди штатного и подрядного персонала металлургического предприятия

[1]*ХАФИЗОВА Валерия Вячеславовна, магистрант, s.valeriya.v@bk.ru,
[2]КУДРЯВЦЕВ Сергей Сергеевич, к.б.н., профессор, sk74_07@mail.ru,
[2]ДЕРБУШ Светлана Николаевна, к.б.н., доцент, svetnika-17@mail.ru,
[2]КИНАЯТОВ Маргулан Аскарович, магистр, старший преподаватель, kinayatov-m@mail.ru,
[3]КОЗЛОВ Валерий Николаевич, д.б.н., профессор, bioritom@mail.ru,
[1]НАО «Карагандинский индустриальный университет», пр. Республики, 30, Темиртау, Казахстан,
[2]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[3]ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ)»; Башкирский институт технологий и управления (филиал), ул. Смоленская, 34, Мелеуз, Россия,
*автор-корреспондент.

Аннотация. Металлургическая отрасль характеризуется повышенным уровнем профессионального риска. Вместе с тем, уровень производственного травматизма среди штатного персонала предприятий и подрядчиков, работающих на этих предприятиях, показывает определённые различия. Целью работы является определить и провести сравнительный анализ факторов риска производственного травматизма среди штатного и подрядного персонала металлургического предприятия. На основе статистического метода произведён расчёт показателей, определяющих особенности производственного травматизма в исследуемых группах. Проведенный анализ выявил ключевые различия в структуре и причинах травматизма среди штатного и подрядного персонала. Это позволило разработать эффективные рекомендации, направленные на снижения травматизма в исследованных группах.

Ключевые слова: производственный травматизм, металлургическое предприятие, штатный персонал, подрядный персонал, охрана труда, анализ рисков.

Введение. В Республике Казахстан наблюдается стабильный рост доли чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера в общей структуре ЧС. Так, по сведениям Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан в 2024 году на техногенные ЧС пришлось 92,4% от общего числа ЧС. При этом, наряду с горнодобывающей отраслью и строительством, предприятия чёрной и цветной металлургии занимают лидирующие позиции по уровню производственного травматизма.

Следует отметить, что металлургические заводы – это, как правило, крупные градообразующие предприятия, где одновременно заняты как штатный персонал, так и подрядный персонал. В этой связи вопросы безопасности труда требуют особенно тщательного анализа и дифференцированного подхода. Так, рядом авторов [1, 2] у штатного и подрядного персонала были отмечены существенные различия в уровне знаний в области техники безопасности и безопасности технологических процессов в обрабатывающей промышленности. По мнению авторов, это является одной из ключевых причин более высокого уровня производственного травматизма у работников подрядных организаций.

По данным Lee et al. [3], частота и тяжесть несчастных случаев, связанных с безопасностью процессов, продолжают находиться на стабильно высоком уровне. Renecle et al. [4] добавляют, что, несмотря на достижения в области технологий и систем управления безопасностью, организации, работающие в

условиях высокого риска, продолжают сталкиваться с ошибками и несчастными случаями с серьезными последствиями для своих работников, клиентов и сообществ.

Как известно, производственные аварии обусловлены четырьмя группами причин: организационными, техническими, технологическими и человеческим фактором. При этом организационные причины и человеческий фактор инициируют производственные аварии в 43 и 9% случаях соответственно [5], что делает актуальным изучение вклада работников подрядных организаций в формирование риска производственных аварий.

Причины промышленных аварий сложны и охватывают несколько факторов, таких как отсутствие приверженности руководства безопасности процесса, недостаточная подготовка работников в области безопасности процесса, ненадлежащее выполнение анализа опасностей процесса, неоптимальная конструкция и эксплуатация оборудования и систем, неправильное управление опасностями, недостаточные знания и опыт обращения с опасными материалами, отсутствие необходимых инструментов и человеческие ошибки. Техническое обслуживание и контроль также часто проводятся неправильно. Эти факторы последовательно определяются как общие причины инцидентов безопасности процесса [6-8].

M. Gonyora и E. Ventura-Medina [9] обнаружили ряд положительных и значимых связей между различными факторами, такими как внедрение процедур, точность коммуникации, удовлетворенность коммуникацией, система разрешений на работу, уровень компетентности и управление рисками. Было показано, что эти факторы влияют на возникновение и частоту несчастных случаев, связанных с техническим обслуживанием. В частности, было показано, что мероприятия по техническому обслуживанию снижают вероятность несчастных случаев, в то время как эффективные методы управления рисками приводят к аналогичному результату. Кроме того, было обнаружено, что удовлетворенность коммуникацией связана с улучшенным управлением рисками во время операций по техническому обслуживанию. Внедрение системы разрешений на работу снижает риск во время технического обслуживания и способствует сокращению числа несчастных случаев. Кроме того, более высокий уровень компетентности персонала связан с эффективным управлением рисками во время технического обслуживания и снижением числа несчастных случаев. При этом отмечается, что точность коммуникации связана с более эффективным управлением рисками во время технического обслуживания, что способствует снижению числа несчастных случаев. Эти же авторы рекомендуют администрации предприятий уделить первостепенное внимание человеческим и организационным факторам, а также методам технического обслуживания для обеспечения безопасной и надежной эксплуатации. Сосредоточившись на этих аспектах, компании могут минимизировать возникновение несчастных случаев и способствовать созданию безопасной рабочей среды.

Целью работы является определить и провести сравнительный анализ факторов риска производственного травматизма среди штатного и подрядного персонала металлургического предприятия.

Методы исследования. Проведён анализ статистических данных из отечественных открытых источников об авариях, инцидентах и несчастных случаях на предприятии [10]. Производился сравнительный анализ 34 зарегистрированных случаев, распределенных между двумя группами: штатный персонал, персонал подрядных организаций. На основе статистического метода произведён расчёт сравниваемых показателей. В работе отечественных авторов приведено подробное описание использованных методов [2].

Научные результаты. В таблице 1 приведены количественные показатели производственного травматизма, зарегистрированные на предприятии в 2024 году.

Проведенный анализ производственного травматизма на предприятии АО «QARMET» убедительно демонстрирует существование принципиально разных механизмов формирования рисков для штатного и подрядного персонала. Полученные данные свидетельствуют о том, что преобладающий среди штатного персонала травматизм, составляющий 70,6% от общего числа случаев, имеет преимущественно кумулятивную природу и напрямую связан с длительным воздействием неблагоприятных производственных факторов. Характерные для этой категории работников травмы – падения, ушибы, последствия систематического нарушения эргономических норм – отражают типичные проблемы организации рабочих мест на промышленных предприятиях с устаревшей инфраструктурой.

В то же время анализ травматизма среди подрядного персонала, на долю которого приходится 29,4% случаев, выявляет качественно иную картину. Все зарегистрированные смертельные случаи и подавляющее большинство тяжелых травм сконцентрированы именно в этой группе, что однозначно указывает на системные недостатки в орга-

низации работ подрядными организациями. Особого внимания заслуживает тот факт, что наиболее тяжелые инциденты происходят при выполнении стандартных для металлургического производства высотных работ, что свидетельствует либо о недостаточной квалификации привлекаемого персонала, либо о грубых нарушениях требований безопасности при организации таких работ.

Как следует из таблицы 2, характер и тяжесть производственного травматизма также имеют определённые различия.

Проведенное исследование выявило существенные различия в структуре производственных травм между штатным и подрядным персоналом. Среди штатного персонала преобладают переломы, составляющие 50% всех зарегистрированных случаев, а также травмы головы (17%), что преимущественно связано с падениями на производственных площадках и ударами о технологические конструкции. Значительно реже встречаются термические и химические ожоги (13%) и различные порезы (20%), которые, как правило, возникают при неосторожном обращении с инструментами и оборудованием. Особого внимания заслуживают единичные случаи отравлений (4%), причиной которых стала недостаточная эффективность систем вентиляции в производственных цехах.

В отличие от этого, структура травматизма среди подрядного персонала имеет принципиально иной характер. Здесь доминируют тяжелые травмы (40% случаев), включая множественные повреждения (политравмы) и случаи, приведшие к инвалидизации пострадавших. Высокая доля переломов (60%) объясняется спецификой выполняемых ра-

Таблица 1 – Количественные показатели травматизма

Критерий	Заводской персонал	Подрядный персонал	Примечания
Общее количество несчастных случаев	24 (70,6%)	10 (29,4%)	Основная доля травм приходится на собственных работников.
Смертельные случаи	0	2 (падение люльки в ЛПЦ-2, падение с высоты в Доменном цехе)	Все смертельные случаи – у подрядчиков.
Групповые травмы	0	1 (падение люльки с двумя пострадавшими)	Подрядные работы связаны с повышенным риском.
Сезонность	Чаще зимой (гололед, обледеневшие лестницы)	Равномерное распределение в течение года	У заводского персонала сезонные риски выше.

Таблица 2 – Характер и тяжесть производственных травм

Тип травмы	Штатный персонал	Подрядный персонал	Примечания
Переломы, кол-во случаев	12	6	Чаще из-за падений
Ожоги (термические/химические), кол-во случаев	3	1	Связаны с неисправностью оборудования (горячая вода, пар)
Травмы головы (закрытые черепно-мозговые травмы, сотрясения), кол-во случаев	4	2	У подрядчиков – из-за падений, у заводских – удары о конструкции
Порезы, раны, кол-во случаев	5	1	Связаны с неосторожным обращением с инструментами
Отравления (газы, пыль), кол-во случаев	1	0	У заводских работников из-за плохой вентиляции
Тяжелые травмы (политравма, инвалидизация), кол-во случаев	2	4	У подрядчиков чаще из-за высотных работ и обрушений

бот – большинство таких травм получено в результате падений с высоты при монтажных и ремонтных работах. Следует подчеркнуть, что все зарегистрированные случаи с наиболее тяжелыми последствиями связаны именно с деятельностью подрядных организаций.

Анализ причин производственного травматизма, проведенный на основе материалов расследований несчастных случаев (таблица 3), показал их комплексный характер. Суммарный процент различных причин превышает 100%, что объясняется выявлением комиссиями по расследованию нескольких взаимосвязанных факторов, способствовавших возникновению каждого конкретного несчастного случая. Для штатного персонала основными причинами стали недостатки в организации рабочих мест и состоянии производственной инфраструктуры, тогда как для подрядных организаций ключевыми факторами риска оказались нарушения требований безопасности при работе на высоте и использование неисправного или несоответствующего стандартам оборудования.

Для обеих групп было установлено, что организационный фактор является основной причиной несчастных случаев на производстве. При этом неудовлетворительная организация работ стала доминирующей причиной производственных травм. Около 40% травм среди штатного персонала было получено по причине неудовлетворительного состояния производственной инфраструктуры: в большинстве случае падения работников происходили из-за скользких полов и сломанных лестниц.

Низкий уровень знаний правил техники безопасности и производственных инструкций стал причиной аварий в 25% случаев у штатного персонала и 30% случае у подрядчиков. В свою очередь, это способствовало совершению ими грубых ошибок, также приведших к травмам. При этом отмечается, что более высокий уровень ошибочных действий, приведших к травмам, у подрядчиков связан с более интенсивным темпом работы.

Неисправность оборудования у подрядчиков (50% случаев) связана с использованием технологического оборудования ненадлежащего качества и дешевых материалов, тогда как оборудование, эксплуатируемое штатным персоналом, регулярно проходит техническое обслуживание и ремонт.

Отсутствие СИЗ и недостаточный уровень знаний об их применении характерны для обеих групп, но среди подрядчиков эти факторы выражены в большей степени.

В таблице 4 представлено распределение несчастных случаев, произошедших на предприятии, по его подразделениям.

Наибольшее количество травм зафиксировано в цехах 1-го передела (Коксохим, Доменный, Конвертерный):

- штатный персонал: 12 случаев (50% от общего числа).
- подрядный персонал: 6 случаев (60% от их общего числа).

Цеха 2-го передела (ЛПЦ-1, ЛПЦ-2) отличаются высокой долей тяжелых и смертельных случаев среди подрядчиков (4 из 10), что связано с работами на высоте и с крановым оборудованием. В цехах ОГЭ и транспортных подразделениях травмы зарегистрированы только среди штатного персонала, так как подрядный персонал там либо не работал, либо выполнял низкорисковые задачи.

Заключение. Проведенный анализ производственного травматизма на предприятии АО «QARMET» позволил выявить системные различия в характере и структуре травматизма между штатным и подрядным персоналом. Наиболее тревожным выводом исследования стало установление факта, что подрядный персонал демонстрируют значительно более высокий уровень тяжелых и смертельных травм, что напрямую связано с

Таблица 3 – Причины производственного травматизма в исследуемых группах

Фактор	Причина	Штатный персонал	Подрядный персонал
Организационный	Неудовлетворительная организация работ	60% случаев	70% случаев
	Плохое состояние инфраструктуры	40% случаев	10% случаев
	Отсутствие СИЗ	15% случаев	25% случаев
Человеческий	Низкий уровень знаний правил техники безопасности и производственных инструкций	25% случаев	30% случаев
	Грубая неосторожность пострадавшего	30% случаев	40% случаев
Технический	Неисправность оборудования	20% случаев	50% случаев

Таблица 4 – Распределение несчастных случаев по цехам

Цех	Заводской персонал	Подрядный персонал	Основные риски
1 Передел (Коксохим, Доменный, Конвертерный)	12 случаев	6 случаев	Падения, ожоги, удары инструментами.
2 Передел (ЛПЦ-1, ЛПЦ-2, ЦПиКОР)	5 случаев	4 случая	Групповые и смертельные случаи (падения, зажатия).
ОГЭ (ТЭЦ-ПВС, ПСЦ)	4 случая	0	Падения с лестниц, ушибы.
Транспортные цеха (УАТ, УЖДТ)	2 случая	0	ДТП, травмы при разгрузке.
РМЗ и прочие цеха	1 случай	0	Порезы, ушибы.

выполнением работ повышенной опасности и систематическими нарушениями требований охраны труда и промышленной безопасности. В отличие от этого, травматизм среди штатного персонала, как правило, не связан с технологическими операциями с высоким уровнем риска и обусловлен, главным образом, неудовлетворительным состоянием производственной инфраструктуры – скользкими полами, неисправными лестницами и отсутствием необходимых ограждений.

Полученные результаты исследования имеют важное практическое значение для разработки комплекса профилактических мероприятий. В первую очередь, они указывают на необходимость внедрения дифференцированного подхода к обеспечению промышленной безопасности. Для подрядных организаций критически важным становится ужесточение контроля за используемым оборудованием и средствами индивидуальной защиты, включая введение многоступенчатой системы проверок перед допуском к выполнению опасных работ. Одновременно с этим требуется масштабная программа модернизации производственной инфраструктуры, направленная на устранение физических факторов риска – установка антискользящих покрытий, модернизация лестничных маршей, оборудование защитных ограждений в зонах повышенной опасности.

Особое значение в контексте профилактики тяжелого травматизма приобретает внедрение системы учета и анализа потенциально опасных ситуаций (near-miss). Как показывает международный опыт, своевременная фиксация и расследование таких инцидентов позволяет выявлять системные проблемы до наступления тяжелых последствий. Разработанные на основе проведенного исследования рекомендации могут быть успешно адаптированы для других предприятий металлургической отрасли, что открывает перспективы для создания отраслевого стандарта профилактики производственного травматизма с учетом особенностей работы со смешанным персоналом. Дальнейшие исследования в этом направлении должны быть сосредоточены на оценке эффективности внедренных мероприятий и разработке методик количественной оценки профессиональных рисков для различных категорий работников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jalani J.J., Kidam K., Shahlan S.S. et al. An analysis of major accident in the US chemical safety board (CSB) database // Jurnal Teknologi. – 2015. – 6. – Pp. 53-60.
2. Yemelin P.V., Kudryavtsev S.S., Yemelina N.K. Improving the industrial safety management system at enterprises with chemically hazardous sites // Journal of Safety Science and Resilience. – 2024. – № 4. – Pp. 432-449. https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2024.06.005
3. Lee J., Cameron I., Hassall M. Improving process safety: what roles for digitalization and industry 4.0? // Process Safety and Environmental Protection. – 2019. – Vol. 132. – Pp. 325-339.
4. Renecle M., et al. Enhancing safety in high-risk operations: a multilevel analysis of the role of mindful

organising in translating safety climate into individual safety behaviours // Safety Science. – 2021. – Vol. 138. – 105197. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105197
5. Kidam K., Hurme M. Origin of equipment design and operation errors // Journal of Loss Prevention in Process Industry. – 2012. – Vol. 25. – Pp. 937-949. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2012.05.005
6. Bai M., et al. Why do major chemical accidents still happen in China: Analysis from a process safety management perspective // Process Safety and Environmental Protection. – 2019. – Vol. 132. – Pp. 325-339. – 2023. – Vol. 176. – Pp. 411-420. https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.06.040
7. Xiang Y., et al. Statistical analysis of major industrial accidents in China from 2000 to 2020 // Engineering Failure Analysis. – 2022. – Vol. 141. – 106632. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106632
8. J. Reason, Managing the risks of organizational accidents – London and New York: Routledge. – 2016. – P. 246.
9. Gonyora M., Ventura-Medina E. Investigating the relationship between human and organisational factors, maintenance, and accidents. The case of chemical process industry in South Africa // Safety Science. – 2024. – Vol. 176. – 106530.
10. Отчёт по несчастным случаям по переделам Стального Департамента за 2024 год. – Темиртау: АО «QARMET». – 2024. – 45 с.

Металлургия кәсіпорнының қызметкерлері мен подрядшылар арасындағы еңбек қауіпсіздігі жағдайын талдау

[1]*ХАФИЗОВА Валерия Вячеславовна, *магистрант, s.valeriya.v@bk.ru,*
[2]КУДРЯВЦЕВ Сергей Сергеевич, *б.ғ.к., профессор, sk74_07@mail.ru,*
[2]ДЕРБУШ Светлана Николаевна, *б.ғ.к., доцент, svetnika-17@mail.ru,*
[2]КИНАЯТОВ Маргулан Аскарович, *магистр, аға оқытушы, kinayatov-m@mail.ru,*
[3]КОЗЛОВ Валерий Николаевич, *б.ғ.д., профессор, bioritom@mail.ru,*
[1]«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қазақстан,
[2]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[3]ФМБЖББМ «К.Г. Разумовский атындағы Мәскеу мемлекеттік технология және басқару университеті (БКУ)» Башқұрт технология және менеджмент институты (филиалы), Смоленская көшесі, 34, Мелеуз, Ресей,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Металлургия саласы жоғары кәсіби қауіптер деңгейімен сипатталады. Дегенмен, кәсіпорындардың қызметкерлері мен оларда жұмыс істейтін подрядшылар арасындағы еңбек жарақаттары деңгейінде айтарлықтай айырмашылықтар байқалады. Зерттеудің мақсаты – металлургия кәсіпорнының қызметкерлері мен подрядшылар арасындағы еңбек жарақаттарының қауіп факторларын анықтау және салыстырмалы талдау жүргізу. Статистикалық әдіс негізінде зерттелетін топтардағы еңбек жарақаттарының ерекшеліктерін анықтайтын көрсеткіштер есептелді. Жүргізілген талдау қызметкерлер мен подрядшылар арасындағы еңбек жарақаттарының құрылымы мен себептеріндегі негізгі айырмашылықтарды анықтады. Бұл зерттелетін топтардағы жарақаттарды азайтуға бағытталған тиімді ұсыныстарды әзірлеуге мүмкіндік берді.*

Кілт сөздер: *еңбек жарақаттары, металлургия кәсіпорны, қызметкерлер, подрядшылар, еңбек қауіпсіздігі, қауіптерді талдау.*

Analysis of Occupational Injuries Among Permanent and Contract Staff at a Metallurgical Enterprise

[1]*KHAFIZOVA Valeria, *Master's Student, s.valeriya.v@bk.ru,*
[2]KUDRYAVTSEV Sergey, *Cand. of Biol. Sc., Professor, sk74_07@mail.ru,*

*[2]**DERBUSH Svetlana,** Cand. of Biol. Sc., Associate Professor, svetnika-17@mail.ru,*
*[2]**KINAYATOV Margulan,** Master's Degree, Senior Lecturer, kinayatov-m@mail.ru,*
*[3]**KOZLOV Valeriy,** Dr. of Biol. Sc., Professor, bioritom@mail.ru,*
[1]NPJSC «Karaganda Industrial University», 30 Republic Avenue, Temirtau, Kazakhstan,
[2]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[3]FSBEI HE «K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (FCU)» Bashkir Institute of Technology and Management (branch), 34 Smolenskaya Street, Meleuz, Russia,
**corresponding author.*

***Abstract.** The metallurgical industry is associated with a heightened level of occupational risk. Notably, the incidence of workplace injuries differs between permanent employees and contract workers within these enterprises. This study aims to identify and comparatively analyze the risk factors contributing to occupational injuries among both groups at a metallurgical enterprise. Using statistical methods, key indicators were calculated to characterize industrial injuries within the studied populations. The analysis revealed significant differences in the structure and causes of injuries between permanent and contract staff. These findings enabled the development of targeted recommendations aimed at reducing occupational injuries in both groups.*

***Keywords:** occupational injuries, metallurgical enterprise, in-house personnel, contract workers, occupational safety, risk analysis.*

REFERENCES

1. Jalani J.J., Kidam K., Shahlan S.S. et al. An analysis of major accident in the US chemical safety board (CSB) database // Jurnal Teknologi. – 2015. – 6. – Pp. 53-60.
2. Yemelin P.V., Kudryavtsev S.S., Yemelina N.K. Improving the industrial safety management system at enterprises with chemically hazardous sites // Journal of Safety Science and Resilience. – 2024. – № 4. – Pp. 432-449. https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2024.06.005
3. Lee J., Cameron I., Hassall M. Improving process safety: what roles for digitalization and industry 4.0? // Process Safety and Environmental Protection. – 2019. – Vol. 132. – Pp. 325-339.
4. Renecle M., et al. Enhancing safety in high-risk operations: a multilevel analysis of the role of mindful organising in translating safety climate into individual safety behaviours // Safety Science. – 2021. – Vol. 138. – 105197. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105197
5. Kidam K., Hurme M. Origin of equipment design and operation errors // Journal of Loss Prevention in Process Industry. – 2012. – Vol. 25. – Pp. 937-949. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2012.05.005
6. Bai M., et al. Why do major chemical accidents still happen in China: Analysis from a process safety management perspective // Process Safety and Environmental Protection. – 2019. – Vol. 132. – Pp. 325-339. – 2023. – Vol. 176. – Pp. 411-420. https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.06.040
7. Xiang Y., et al. Statistical analysis of major industrial accidents in China from 2000 to 2020 // Engineering Failure Analysis. – 2022. – Vol. 141. – 106632. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106632
8. J. Reason, Managing the risks of organizational accidents – London and New York: Routledge. – 2016. – P. 246.
9. Gonyora M., Ventura-Medina E. Investigating the relationship between human and organisational factors, maintenance, and accidents. The case of chemical process industry in South Africa // Safety Science. – 2024. – Vol. 176. – 106530.
10. Otchjot po neschastnym sluchajam po peredelam Stal'nogo Departamenta za 2024 god. – Temirtau: AO «QARMET». – 2024. – 45 p.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_73 УДК 628.5(075.8)

Анализ существующих методов и подходов в управлении водными ресурсами

[1]**ЖАНДАУЛЕТОВА Фарида Рустембековна,** *к.т.н., профессор, f.zhandauletova@aues.kz,*
[1]***ДЕМЕУОВ Баккелди Маратович,** *магистрант, ba.demeuov@aues.kz,*
[1]**МАНАНБАЕВА Светлана Евгениевна,** *доцент, s.manabaeva@aues.kz,*
[2]**ОВЧИННИКОВА Татьяна Игоревна,** *д.т.н., доцент, ovchinnikova.ti@misis.ru,*
[1]НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», ул. А. Байтурсынова, 126/1, Алматы, Казахстан,
[2]Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Ленинский проспект, 4, Москва, Россия,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В современных условиях усиление роли государства в управлении процессами, связанными с использованием и охраной водных ресурсов, во многом определяет социально-экономическую устойчивость и направление развития страны. Продуманная политика в сфере водных отношений и разработка эффективных нормативов рационального водопользования способны обеспечить сохранение воды как основы всей жизни. Вместе с тем, в настоящее время наблюдаются существенные недостатки в государственной политике и системе управления, что приводит к неблагоприятным и во многих случаях необратимым последствиям. В Казахстане сохраняются серьёзные проблемы, связанные с водными ресурсами. Одной из них является постоянный рост водопотребления со стороны сельского хозяйства, промышленности и городских территорий, что напрямую отражается на состоянии водных запасов. Эти процессы приводят к уменьшению объемов поверхностных и подземных вод, наглядным примером чего служит усыхание Аральского моря. Кроме того, остаются нерешёнными вопросы распределения и совместного использования трансграничных водных объектов. Актуальность исследования определяется необходимостью анализа межотраслевых и межрегиональных взаимосвязей в сфере водопользования и оценкой их значимости для устойчивого развития Казахстана. Цель работы заключается в выявлении приоритетных направлений рационального использования водных ресурсов, определении основных проблем регионального уровня и стратегическом анализе возможностей страны. В статье рассматриваются современные подходы к управлению водными ресурсами в Казахстане и мире при решении вопросов водообеспечения, охраны вод и защиты от паводков.*

Ключевые слова: *водные ресурсы, водопользование, экологические проблемы, аварии и катастрофы, безопасность.*

Введение

В последние годы Казахстан переживает период масштабных социально-экономических преобразований, сопровождающихся повышенной нагрузкой на природные ресурсы. Одной из ключевых проблем страны остаётся дефицит возобновляемых источников пресной воды, который способен ограничить темпы устойчивого экономического и экологического развития. Этот факт подтверждается рядом отечественных и зарубежных исследований, указывающих на необходимость пересмотра водохозяйственной политики государства [1].

Современная концепция управления водными ресурсами строится на принципах рационального использования и экологического равновесия. Основное внимание уделяется сохранению и экономному расходованию водных запасов, повышению продуктивности водохозяйственных систем, а также контролю и улучшению качества водных источников. Существенное значение имеет также модернизация отраслей, деятельность которых напрямую связана с водопользованием. Достижение устойчивого экономического развития и сохранение природных экосистем возможно лишь при реализации комплексного и научно обоснованного подхода к охране, распределению и

использованию водных ресурсов.

Достижение этих целей требует создания оптимальной системы распределения водных ресурсов не только между отраслями и регионами страны, но и между государствами, разделяющими трансграничные водные бассейны. Особое внимание следует уделить адаптации к изменению климата, включая сокращение последствий уменьшения стока ледников и нестабильности осадков. Серьёзную угрозу по-прежнему представляет загрязнение поверхностных и подземных вод [2-4].

Во многих районах Казахстана качество воды оценивается как неудовлетворительное. Основные источники загрязнения связаны со сбросом неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод, поступающих от предприятий нефтехимического, горнодобывающего и перерабатывающего секторов, что оказывает значительное негативное влияние на окружающую среду и здоровье населения.

В связи с этим актуализируется задача совершенствования механизмов государственного управления в области рационального использования и охраны водных ресурсов. Исследование направлено на разработку методического подхода, позволяющего обосновать значение водных ресурсов в обеспечении устойчивого экономического развития регионов Казахстана. Для достижения этой цели предлагается использовать оптимизационную межрегиональную и межотраслевую модель долгосрочного планирования.

Немаловажное значение имеет и развитие международного сотрудничества в сфере управления трансграничными водными объектами. Казахстан активно взаимодействует с Россией, Кыргызстаном, Узбекистаном, Таджикистаном и Китаем в вопросах охраны и рационального использования общих водных ресурсов, что способствует формированию согласованных экологически безопасных решений [5].

По данным Всемирной организации здравоохранения, более миллиарда человек во всём мире вынуждены использовать непригодную для питья воду. Ежегодно около 3,4 миллиона человек, преимущественно детей, погибают от заболеваний, вызванных её низким качеством. Прогнозируется, что к 2030 году дефицит пресной воды может приобрести глобальный характер и стать одним из факторов международных конфликтов.

Таким образом, государственное управление водными ресурсами представляет собой неотъемлемую часть системы государственного регулирования и требует дальнейшего научного осмысления. Изучение его принципов, механизмов и направлений совершенствования является важным условием обеспечения экологической и экономической безопасности страны.

В данной работе применены методические подходы, основанные на трудах отечественных и зарубежных исследователей, изучающих актуальные научные и практические вопросы водохозяйственного планирования и эксплуатации гидротехнических сооружений различного назначения – от коммунально-бытового сектора до промышленности и мелиорации. Для достижения целей исследования использовались методы системного анализа, включающие теоретические подходы к расчету параметров водохранилищ и регулированию стока, а также инструменты стохастического и имитационного моделирования.

Теория

Рациональное использование водных ресурсов должно быть направлено на повышение уровня социально-экономического развития общества при одновременном сохранении устойчивости природных экосистем. Основной акцент в данной работе сделан на рассмотрении взаимосвязи между человеческой деятельностью и состоянием водных экосистем, а также на необходимости их защиты и интеграции природоохранных мероприятий в систему управления водными ресурсами.

Зачастую управление водопользованием и охраной экосистем осуществлялось разными ведомствами и профессиональными сообществами, что приводило к отсутствию согласованности действий. Различие подходов и научных взглядов препятствовало совместной работе даже в случаях, когда цели оставались общими. В последние годы прослеживается тенденция к объединению усилий специалистов разных направлений с целью комплексного решения экологических проблем, связанных с сохранением водных экосистем. Особое внимание уделяется установлению минимально допустимых расходов воды, необходимых для поддержания стабильного функционирования этих экосистем и предотвращения их деградации.

Научные результаты

Жизнедеятельность человека напрямую зависит от природных ресурсов – воды, продовольствия и сырья, которые обеспечивают устойчивое существование общества. Вместе с тем использование этих ресурсов неизбежно сопровождается вмешательством в природные процессы и изменением ландшафтов. Строительство водохранилищ, скважин и оросительных каналов, проведение дренажных мероприятий, освоение новых земель, вырубка лесов и иные формы

хозяйственной активности оказывают заметное влияние на экосистемы, нарушая их природное равновесие.

Рост населения планеты приводит к увеличению потребности в продовольствии, что, в свою очередь, стимулирует активное применение удобрений и ирригационных технологий. Однако подобные меры вызывают ряд негативных последствий, среди которых – загрязнение поверхностных и подземных вод, засоление и заболачивание земель, а также рост концентрации минеральных веществ в водоёмах.

Дополнительную нагрузку на природную среду создают отходы промышленного и коммунального происхождения. Их несанкционированный сброс в водные объекты усиливает антропогенное воздействие и способствует ухудшению экологического состояния территорий. В условиях урбанизации и развития промышленности масштабы этого влияния неуклонно возрастают, что вызывает серьёзную обеспокоенность общества вопросами охраны водных ресурсов и сохранения экологического баланса.

В пределах водосборных бассейнов атмосферные осадки перераспределяются между элементами природной среды и хозяйственной деятельностью человека, в результате чего формируется сложная система взаимосвязей между наземными и водными экосистемами [6]. Для сохранения устойчивости водных ресурсов необходимо поддерживать равновесие между потребностями общества и природными возможностями водосборной территории. Весь объём осадков, выпадающих на водосбор, образует совокупные водные ресурсы, совместно используемые всеми зависимыми от воды системами (рисунок 1).

Атмосферные осадки, выпадающие на земную поверхность, разделяются на два основных потока. Первый – «зелёный поток» (эвапотранспирация) – обеспечивает влагой наземные экосистемы и способствует поддержанию их устойчивого функционирования. Второй поток – так называемый «голубой поток» (поверхностный и подземный сток) – имеет решающее значение для поддержания водных экосистем и служит главным источником пресной воды, используемой в хозяйственной и бытовой деятельности человека. В условиях современного природопользования центральной задачей экологически устойчивого управления является обеспечение равновесия между хо-

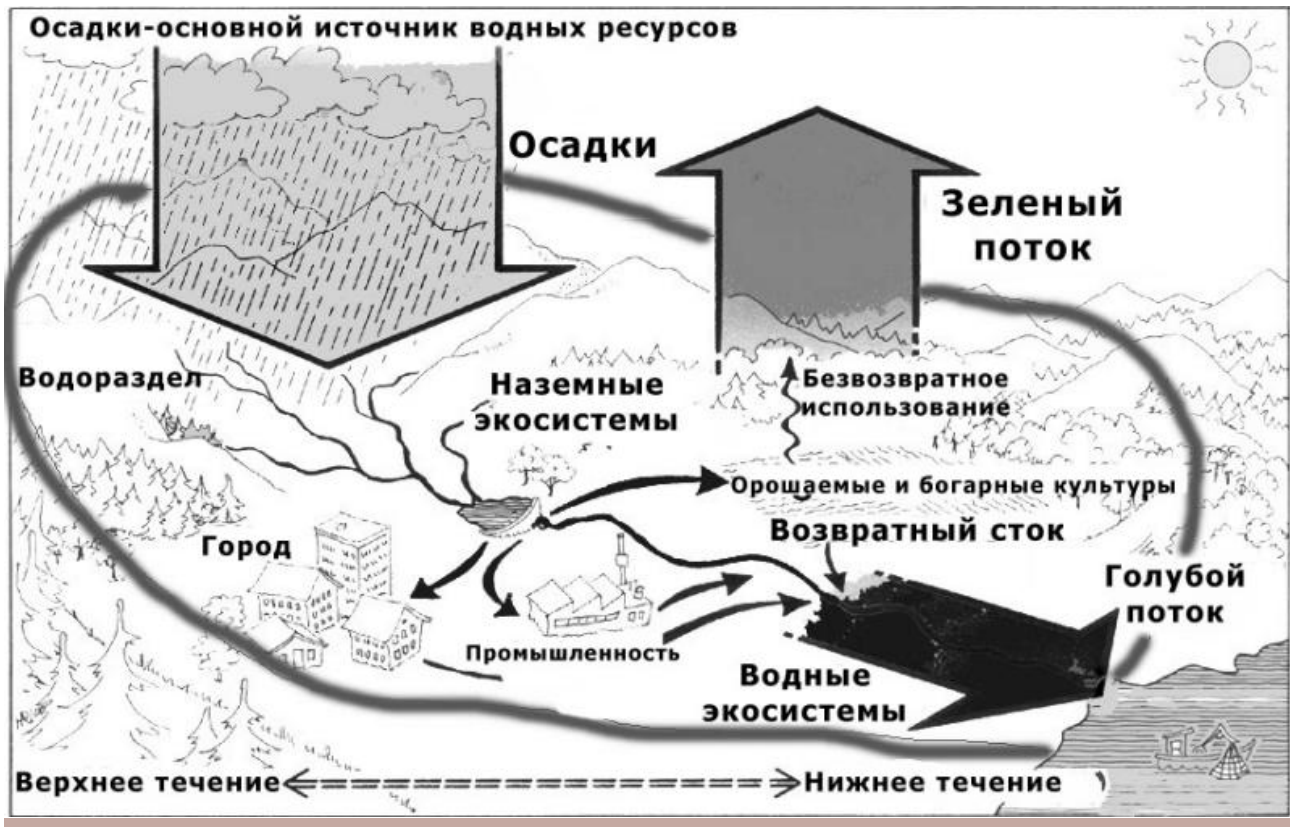


Рисунок 1 – Водные ресурсы, используемые совместно всеми зависящими от воды системами

зяйственной деятельностью человека и состоянием природных систем, минимизация отрицательных последствий антропогенного воздействия и рациональное распределение водных ресурсов.

В ходе исследования применялся метод сравнительного анализа, позволивший определить сходства и различия в подходах к государственному управлению водными ресурсами и политике их охраны в Республике Казахстан и зарубежных странах. Дополнительно использовались ценностно-нормативные методы, что дало возможность рассмотреть ключевые правовые и институциональные основы управления водными ресурсами, а также особенности международного сотрудничества в сфере охраны и рационального использования трансграничных водных объектов.

Речной бассейн представляет собой сложную природно-хозяйственную систему, включающую разнообразные экосистемы и формы социальной активности. Различия в гидрологических, топографических и гидрогеологических характеристиках отдельных участков требуют их научной классификации. В связи с этим Международный институт управления водными ресурсами (IWMI) предложил использовать категорию гидрологических зон, основанную на оценке поведения «голубого потока» после его забора. Такая классификация учитывает, возвращается ли часть использованной воды обратно в водную систему или же она теряется вследствие сброса в пониженные участки рельефа либо из-за ухудшения её качества (рисунок 2).

В структуре водосборных бассейнов различают три основных типа зон, где возможно использование или повторное использование водных потоков в нижних участках течения:

- зона водоисточников – верхняя часть бассейна, где формируется исходный сток;
- зона естественного перехвата – область, в которой вода самотёком поступает в водную систему;
- зона регулируемого перехвата – территория, где возврат водных масс осуществляется с применением насосных систем и других инженерных сооружений.

Помимо этого, выделяют ещё три специфические категории зон, отличающиеся по гидрологическим характеристикам:

- зона конечного водопользования, находящаяся в нижнем течении и не имеющая дальнейших потребителей воды;
- застойные зоны – замкнутые или депрессионные участки, не имеющие выхода стока;
- экологически уязвимые зоны, для которых необходим особый режим водопользования с целью сохранения природного баланса и защиты экосистем.

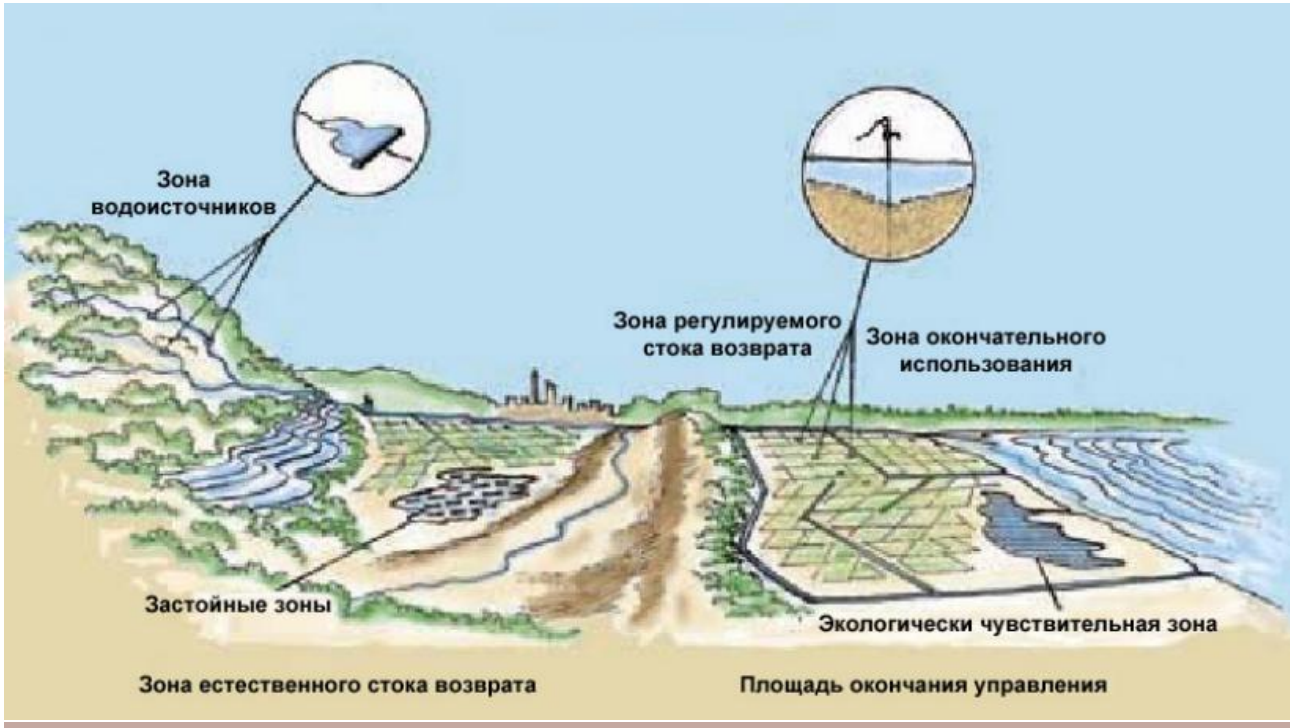


Рисунок 2 – Гидрологические зоны речного бассейна

Заключение

В перспективе ближайших десятилетий прогнозируются существенные трансформации природных ландшафтов, обусловленные ростом численности населения, процессами глобализации мировой экономики, развитием индустриального производства, а также реализацией государственных и международных программ, направленных на сокращение уровня бедности и обеспечение продовольственной безопасности. Данные факторы предопределяют необходимость разработки научно обоснованных и комплексных подходов к управлению окружающей средой, обеспечивающих сбалансированное взаимодействие социальных, экономических и экологических компонентов.

В ходе проведённого анализа выявлены основные системные проблемы и недостатки действующей модели управления водохозяйственным комплексом Республики Казахстан. Установлены ключевые сдерживающие факторы, препятствующие устойчивому развитию водного сектора, и определены приоритетные направления его совершенствования, включающие внедрение инновационных механизмов регулирования и повышение эффективности использования водных ресурсов.

Принципы интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР) направлены на рациональное распределение водных ресурсов как между различными секторами экономики, так и между государствами, разделяющими трансграничные речные бассейны. Важнейшим элементом ИУВР является адаптация водохозяйственной политики к современным климатическим вызовам, включая моделирование сценариев изменения гидрологического режима, объёмов осадков и динамики таяния ледников.

Существенной проблемой остаётся загрязнение поверхностных и подземных водных объектов, уровень которого в ряде регионов Казахстана можно охарактеризовать как критический. К основным источникам загрязнения водных объектов относятся сбросы неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод, поступающих от промышленных предприятий и коммунальных служб. Эти процессы оказывают серьёзное отрицательное влияние на экологическое состояние водных экосистем и создают угрозу здоровью населения.

Эффективная система управления водными ресурсами в современных условиях должна базироваться на комплексном подходе, предусматривающем взаимосвязь между водопользованием и землепользованием, рациональное распределение водных запасов, а также поддержание равновесия между хозяйственной деятельностью человека и сохранением природных экосистем. При этом важно учитывать особенности гидрологического режима как верхних, так и нижних участков речных бассейнов, что позволит обеспечить устойчивое развитие территорий.

Рациональное и устойчивое управление водными ресурсами требует реализации ряда фундаментальных принципов, направленных на обеспечение экологического, социального и экономического равновесия.

К их числу относятся:

а) создание эффективных механизмов согласования интересов между различными группами водопользователей с целью предотвращения конфликтов и обеспечения справедливого распределения водных ресурсов;

б) определение экологических границ устойчивости, основанных на научно обоснованных показателях допустимого воздействия на водные экосистемы и учёте их способности к саморегуляции и адаптации к антропогенным нагрузкам;

в) внедрение принципов равного доступа к водным ресурсам для всех категорий пользователей, с сохранением их природной целостности, неделимости и межпоколенческой справедливости в использовании.

Следует подчеркнуть, что нормативно-правовая база и политические принципы государственного управления водными ресурсами нуждаются в дальнейшем развитии и институциональном укреплении. Вместе с тем существующие на данный момент модели водохозяйственного администрирования в Республике Казахстан и других странах являются относительно оптимальными для текущего этапа социально-экономического и межгосударственного взаимодействия. Эти модели отражают внутренние особенности политической и экономической систем, но при этом подвержены влиянию глобальных и региональных факторов. В долгосрочной перспективе можно ожидать их структурной трансформации, обусловленной изменением приоритетов государственной политики и развитием международного сотрудничества в области водопользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2023 год.
2. Чепелов С.А. Оценка экологического риска загрязнения водных объектов / С.А. Чепелов // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2018. – № 1 (34). – С. 109-114.
3. A. Egorov, V. Kulikova, D. Petrushin, M. Sadokhina. Research of the composition and structure of the Russian Power system Power Plants. Proceedings of the 2021 IEEE ElConRus 2021, 9396417.
4. Analysis of reliability of Boguchany Damcircuit of power output while taking into account the perspective of Siberian United Energy Systems development / A.S. Svinko, E.Yu. Sizganova, R.A. Petukhov, I.V. Kovalenko // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies, Krasnoyarsk, 04 марта 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 22070. – DOI 10.1088/1742-6596/1515/2/022070.
5. Цыренова Т.Б. О некоторых аспектах административного механизма государственного регулирования водных отношений в РФ / Т.Б. Цыренова // Человек, культура и общество в изменяющемся мире: сб. науч. тр. Улан-Удэ: Изд-во Бурят. гос. ун-та, 2011. Ч. 2. С. 217-220.
6. Чупикова С.А. Морфометрический и фрактальный анализ водосборного бассейна реки Харал / С.А. Чупикова, И.К. Андронаке // Природные ресурсы, среда и общество. – 2019. – № 2 (2). – С. 54-60. doi: 10.24411/2658-4441-2019-0003

Су ресурстарын басқарудағы қолданыстағы әдістер мен тәсілдерге талдау

[1]ЖАНДАУЛЕТОВА Фарида Рустембековна, *т.ғ.к., профессор, f.zhandauletova@aues.kz,*
[1]*ДЕМЕУОВ Баккелди Маратович, *магистрант, ba.demeuov@aues.kz,*
[1]МАНАНБАЕВА Светлана Евгениевна, *доцент, s.manabaeva@aues.kz,*
[2]ОВЧИННИКОВА Татьяна Игоревна, *т.ғ.д., доцент, ovchinnikova.ti@misis.ru,*
[1]«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КеАҚ, А. Байтұрсынұлы көшесі, 126/1, Алматы, Қазақстан,
[2]«МИСиС» ұлттық зерттеу технологиялық университеті, Ленинский даңғылы, 4, Мәскеу, Ресей,

**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Қазіргі жағдайда су ресурстарын пайдалану мен қорғау үдерістерін басқарудағы мемлекеттің рөлін арттыру елдің әлеуметтік-экономикалық тұрақтылығы мен даму бағытын айқындайтын маңызды фактор болып табылады. Су қатынастары саласындағы ойластырылған саясат пен суды ұтымды пайдалану жөніндегі тиімді нормалардың әзірленуі тіршіліктің негізгі көзі болып табылатын суды сақтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, қазіргі кезде мемлекеттік саясат пен басқару жүйесінде орын алған кемшіліктер су ресурстары саласында қолайсыз және кей жағдайда қайтымсыз салдарға алып келуде. Қазақстанда су ресурстарына қатысты бірқатар маңызды мәселелер әлі де бар. Олардың бірі – ауыл шаруашылығы, өнеркәсіп және қалалық аумақтар тарапынан суды тұтынудың тұрақты өсуі, бұл су қорларының азаюына тікелей әсер етеді. Мұндай үдерістер жерүсті және жерасты сулары көлемінің кемуіне әкеліп соғады, оның айқын мысалы – Арал теңізінің тартылуы. Бұдан бөлек, трансшекаралық су нысандарын бөлу және бірлесіп пайдалану мәселелері өзекті болып отыр. Зерттеудің өзектілігі су пайдаланудағы саралық және өңіраралық байланыстарды талдау мен олардың Қазақстанның орнықты дамуы үшін маңызын айқындау қажеттілігімен айқындалады. Зерттеу мақсаты – су ресурстарын тиімді пайдалану бағыттарын айқындау, өңірлік деңгейдегі негізгі проблемаларды анықтау және елдің даму мүмкіндіктеріне стратегиялық талдау жүргізу. Мақалада Қазақстан мен әлемдегі су ресурстарын басқарудың қазіргі тәсілдері, сумен қамтамасыз ету, су қорғау және тасқындарға қарсы іс-шаралар қарастырылады.*

Кілт сөздер: *су ресурстары, су пайдалану, экологиялық мәселелер, апаттар мен төтенше жағдайлар, қауіпсіздік.*

Analysis of Existing Methods and Approaches in Water Resources Management

[1]ZHANDAULETOVA Farida, *Cand. of Tech. Sc., Professor, f.zhandauletova@aues.kz,*
[1]*DEMEUOV Bakeldy, *Master's Student, ba.demeuov@aues.kz,*
[1]MANANBAYEVA Svetlana, *Associate Professor, s.manabaeva@aues.kz,*
[2]OVCHINNIKOVA Tatyana, *Dr. of Tech. Sc., Associate Professor, ovchinnikova.ti@misis.ru,*
[1]NPJSC «Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev», 126/1 A. Baitursynova Street, Almaty, Kazakhstan,
[2]National University of Science and Technology «MISIS», 4 Leninsky Avenue, Moscow, Russia,
**corresponding author.*

Abstract. *In modern conditions, strengthening the role of the state in managing the processes related to the use and protection of water resources is a key factor determining the socio-economic stability and direction of the country's development. A well-considered policy in the field of water relations and the development of effective standards for rational water use make it possible to preserve water as the basis of all life. However, at present, there are significant shortcomings in state policy and management systems, leading to adverse and sometimes irreversible consequences in the field of water resources. Kazakhstan continues to face serious issues related to water resources. One of the main problems is the constant increase in water consumption by the agricultural, industrial, and urban sectors, which directly affects the depletion of water reserves. These processes result in a reduction of surface and groundwater volumes, as illustrated by the drying of the Aral Sea. In addition, the issues of distribution and joint use of transboundary water bodies remain relevant. The relevance of this research lies in the need to analyze intersectoral and interregional relationships in water use and assess their importance for the sustainable development of Kazakhstan. The main objective is to identify priority directions for rational water management, determine key regional problems, and conduct a strategic analysis of the country's development opportunities. The paper examines modern approaches to water resource management in Kazakhstan and worldwide in addressing water supply, protection, and flood control challenges.*

Keywords: *water resources, water use, environmental problems, accidents and disasters, safety.*

REFERENCES

1. Natsionalnyy doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy i ob ispolzovanii prirodnykh resursov Respubliki Kazakhstan za 2023 god.
2. Chepelov S.A. Otsenka ekologicheskogo riska zagryazneniya vodnykh ob'ektov / S.A. Chepelov // Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2018. – № 1 (34). – Pp. 109-114.
3. A. Egorov, V. Kulikova, D. Petrushin, M. Sadokhina. Research of the composition and structure of the Russian Power System Power Plants. Proceedings of the 2021 IEEE ElConRus 2021, 9396417.
4. Analysis of reliability of Boguchany Dam circuit of power output while taking into account the perspective of Siberian United Energy Systems development / A.S. Svinko, E.Yu. Sizganova, R.A. Petukhov, I.V. Kovalenko // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies, Krasnoyarsk, 04 marta 2020 goda / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 22070. – DOI 10.1088/1742-6596/1515/2/022070.
5. Tsyrenova T.B. O nekotorykh aspektakh administrativnogo mekhanizma gosudarstvennogo regulirovaniya vodnykh otnosheniy v RF / T.B. Tsyrenova // Chelovek, kultura i obshchestvo v izmenyayushchemsya mire: sb. nauch. tr. Ulan-Ude: Izd-vo Buryat. gos. un-ta, 2011. Ch. 2. Pp. 217-220.
6. Chupikova S.A. Morfometricheskiy i fraktalnyy analiz vodosbornogo basseyna reki Kharal / S.A. Chupikova, I.K. Andronake // Prirodnye resursy, sreda i obshchestvo. – 2019. – № 2 (2). – Pp. 54-60. doi: 10.24411/2658-4441-2019-0003.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_80 ӘОЖ 331.46:614.8

Электр энергетикасы кәсіпорындарындағы жарақаттану және адам факторының қауіпсіздігін талдау

[1]*ЕРМУХАНОВА Нуржамал Бахитжановна, PhD, қауымдастырылған профессор, nurzhamal.yermukhanova@gmail.com,
[1]СЫДЫКОВА Гулнар Кудайбергеновна, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, sydykova77@mail.ru,
[1]НУРЖАНОВА Диляра Бекмуратовна, магистр, аға оқытушы, divadan2017@mail.ru,
[2]БИСЕНГАЛИЕВА Асыл Макымовна, магистр, аға оқытушы, B.a.m69@mail.ru,
[1]АСАН Нурдаулет Сабырханұлы, магистрант, sabyrkhanovich@bk.ru,
[1]«Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КеАҚ, Әйтеке би көшесі, 29а, Қызылорда, Қазақстан,
[2]«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, Жәңгір хан көшесі, 51, Орал, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Электр энергетикасы саласындағы өндірістік жарақат алу себептері мен факторлары және аймақтағы энергетика саласындағы жарақаттанудың статистикалық мәліметтерін талдау қарастырылған. Көптеген авторлар басты жарақаттану себептері, қауіпті жұмыс жағдайлары мен жабдықтарға байланысты емес, адам әрекеттерінен деген дәлелдемелер келтіреді. Бірақ энергетика саласы апат қаупі жоғары сала болғандықтан екеуі де басты себептер болады. Электр энергиясын өндіретін және тарататын кәсіпорынның басты мақсаты жарақаттануды азайту немесе болдырмау үшін еңбек қауіпсіздігі және денсаулық сақтау менеджменті жүйесінің стандарт талаптарына сәйкес, қауіптерді жойып, тәуекелді азайтып, білікті кадрларды дұрыс таңдап, жазатайым оқиғалардың алдын-алу болып табылады.*

Кілт сөздер: *жазатайым оқиға, электр жарақаты, жарақаттану себептері, электр тогы, биіктіктен құлау, адами факторлар, қауіптерді жою, тәуекелді азайту.*

Кіріспе. Электр энергетикасы күрделі технологиялық кешен болып табылады, мұнда қателік құны өте жоғары. Қазіргі әлемде электр энергиясы күнделікті сұраныстың тауары ғана емес, ол адамдардың өмір салтын қалыптастырушы. Онсыз өнеркәсіп пен көлік жұмыс істей алмайды. Электр қуатының үзілуі оларға әсер етіп қана қоймай, өмірдің өзіне қауіп төндіретін техногендік апаттарға әкелуі мүмкін. Бүгінгі таңда жоғары дамыған елдерде де электр энергетикасы саласы ең қауіпті салалардың бірі болып табылады. Өндірістегі электр желілерін пайдалану кезінде ондаған апаттар әсерінен әртүрлі дәрежедегі жұмысшылардың жарақаттануының жоғары деңгейі осы уақытқа дейін саладағы басты мәселелердің бірі болып келеді. Бұл саладағы жарақаттар адам өліміне немесе ауыр нәтижедегі мүгедектікке байланысты жарақаттардың ең ауыр түрі болып табылады. Электр энергетика саласындағы жарақаттардың алдын-алу және болдырмау жөніндегі жалпы шаралар кешенінде жазатайым оқиғалардың негізгі факторлары мен себептерін анықтау мақсатында электр жарақаттары туралы статистикалық деректерді талдау ерекше орын алады [1].

Зерттеу материалдары мен әдістері

Электр жарақаты бойынша статистикалық деректерді талдау нәтижесінде өнеркәсіп пен ауыл шаруашылығының жекелеген салаларында соңғы онжылдықта жазатайым оқиғалардың пайда болуының шамалы төмендеуі байқалғанымен, 2018 жылы облыстағы, тіпті республика бойынша электр энергетикасы объектілерінде жазатайым оқиғалардың ең көп саны тіркелген. Оның себебі, соңғы бес жылда ұзақ жылдар қызмет атқарған ескірген электр құрылғыларында жөндеу жұмыстары жүргізіле бастаған кезде кәсіби маманның жетіспеуі немесе тәжірибесіз мамандардың электр жабдық-

тарымен жұмыс істеу тәжірибесі болмауы, жарақатсыз атқаруға дайын еместігі болса, екіншіден, ауа райының қолайсыздығына байланысты жел, дауыл, жауын-шашын кезінде ескірген электр қондырғыларындағы төтенше жағдайлардың орын алуы себеп болуда. 2022 жылы еліміздің энергетикалық кәсіпорындарда 36 жазатайым оқиға болып, оның 8-і өліммен аяқталса, 2023 жылда еліміздің энергетикалық кәсіпорындарда 78 жазатайым оқиға болып, оның ішінде 15-і өліммен аяқталған.

«Қызылорда электр тарату тораптары компаниясы» АҚ (ҚЭТТК) Қызылорда қаласымен облыс аудандарды электрмен қамтамасыз етеді. 2000 – 2024 жылдар аралығында ҚЭТТК АҚ тіркелген, тек өндіріспен байланысты 48 оқиға орын алса, оның 5-і жеңіл, 10-ы орташа ауырлықтағы, 11-і ауыр жарақат, 22 оқиға қайғылы жағдаймен (1-суретте) аяқталған.

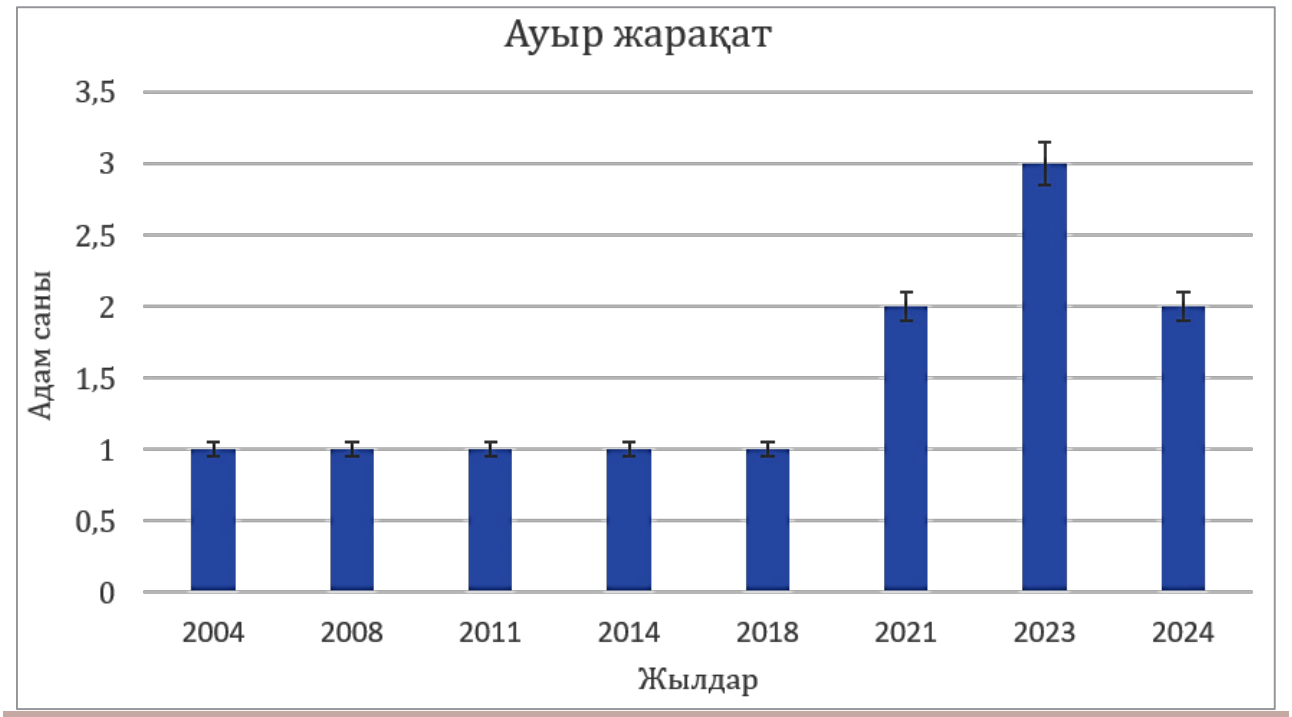
2-суретте Қызылорда облысы бойынша 2000-2024 жылдар арасындағы тіркелген ауыр жарақаттар саны барлығы 12, оның ішінде 2024 жылғы 2 қайғылы оқиғаның 1 қайғылы жағдайы өндіріспен байланысты емес. Электр энергетикасы кәсіпорындарындағы жұмыскерлердің кәсіпқойлығы мен заманауи құрылғылардың мүмкіндіктерінің дұрыс үйлесуі жұмыстың тиімділігін айтарлықтай арттырады және адамның техникалық құралдарды оңтайлы пайдалануына ықпал етеді.

Көптеген зерттеулерде жарақаттанудың басты қателігі адам факторы болып табылады. Адам факторы негізінен персоналдың жұмыс орнында туындайтын нақты қауіптерді үздіксіз анықтау және бағалау және қазіргі төтенше жағдайда тиісті оңтайлы шешім қабылдау қабілетсіздігінде көрінеді. Адам факторының пайда болу себептерінің бірі – реакция жылдамдығы, зейіннің шоғырлануы және бөлінуі, логикалық ойлау, эмоционалдық тұрақтылық және т.б. сияқты адами қасиеттерге тікелей тәуелді жазатайым оқиғаларға бейімділікті анықтайтын белгілі бір жеке психологиялық қасиеттердің болуы. Сондықтан персонал қателерінде адам факторының үлесі айтарлықтай жоғары [2].

Жазатайым оқиғалар саласында «Генрих заңы» негізін салушы, Герберт Уильям Генрих 1920 жылдары жұмыс орнындағы барлық жазатайым оқиғалардың 88%-ы «адами фактордан» деп қарастырған. Содан бері уақытпен бірге жұмыс орнындағы қауіпсіздікпен жұмыс орнының өзі айтарлықтай өзгергеніне қарамастан, «адамдардың іс-әрекетін ескермей, жұмыс орнын толығымен қауіпсіз ету мүмкін емес» деген қағида әлі де мәнін жоймаған [3].

Мысалы, әлемдік деңгейдегі Дюпон сияқты компаниялардың қауіпсіздік саласындағы зерттеулері жарақаттану себептерінің 96% адам әрекеттері, қалған 4% қауіпті жағдайлардан деп көрсетті. Атап айтқанда, жазатайым оқиғалардың көпшілігі жұмыс жағдайлары мен жабдықтарға бай-

1-сурет – Қызылорда облысы бойынша 2000-2024 жылдар арасындағы электр энергетикасы саласында тіркелген өліммен аяқталған жарақаттар саны



2-сурет – Қызылорда облысы бойынша 2000-2024 жылдар арасындағы электр энергетикасы саласында тіркелген ауыр жарақаттар саны

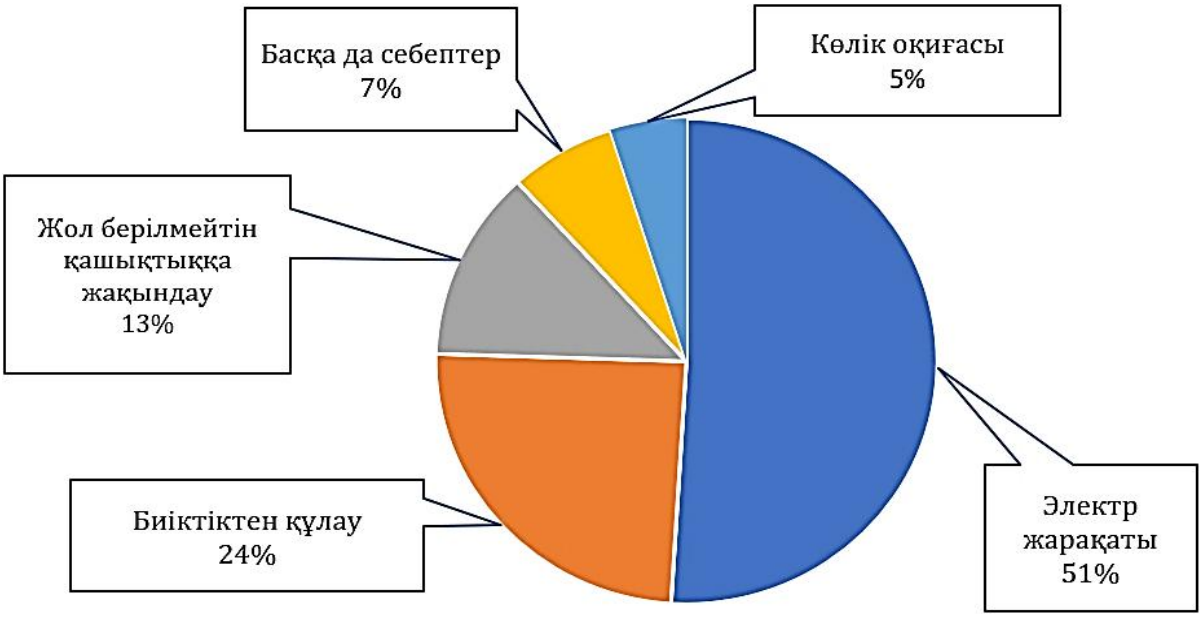
ланысты емес, адамдардың қауіпті әрекеттері мен қауіпті мінез-құлқына байланысты, яғни жұмыс орындарындағы барлық жұмысшылардың мінез-құлқы оқиғалар мен жарақаттардың орын алуын немесе болмауын анықтайды. Тіпті бәрі жақсы және ештеңе болмайтын кеңседе де, жарақат болуы мүмкін. Керісінше, жарақатсыз, тіпті қауіпті жабдықта жұмыс істеп, барлық ережелерді сақтай отырып, жұмыс істеуге болады. 1802 жылы Дюпон негізін қалаған компания бүкіл әлемдегі адамдардың жақсы, қауіпсіз және салауатты өмір сүруі үшін тұрақты шешімдер жасау үшін ғылымды пайдалану негізінде қауіпсіздік және денсаулық, қоршаған ортаға қамқорлық, этикалық мінез-құлық, адамдарға деген құрмет деп аталатын құндылықтарды негізге алады [4].

2000-2024 жылдар арасында зардап шеккен оқиғалардың негізгі себептері:

- электр тогының әсерінен жарақат алуы – 51%;
- зардап шеккендердің биіктіктен құлауы – 24%;
- жол берілмейтін қашықтыққа жақындау – 13%;
- көлік оқиғалары – 5,%;
- басқа да себептер 7%-ын құрайды (3-сурет).

Электр тарату тораптарындағы жазатайым оқиғалардың негізгі түрі – «биіктіктен құлау», бұл барлық оқиғалардың 24%-ын құрайды. Тіркелген статистикалық мәліметтерді талдау кезінде өліммен аяқталатын жарақаттар ішінде ең көп саны электр тогының әсерінен жарақат алудан кейінгі орында электр энергетикасы объектілерінде жөндеу-қалпына келтіру жұмыстарын орындау кезінде орын алатыны анықталды.

Статитикалық зерттеулер көрсеткендей, жалпы электр энергетикасын өндіру кәсіпорындары мен ұйымдары жұмысшыларының жарақаттануларының басты себептері электр тогы ұрудан зардап шегуі болса, электр тарату мекемелері жұмысшыларының зардап шеккендердің биіктіктен құлауы және жол берілмейтін қашықтыққа жақындау басты фактор болып отыр. Энергетика объектілерінде жарақатқа, соның ішінде өлімге әкелетін қауіпті өндірістік факторлардың ішінде электр тогы ерекше орын алады. Оның электр қондырғыларының ток өткізетін және ток өткізбейтін бөліктерінде болуын тек өлшеу құралдарының көмегімен анықтауға болады. Электр қондырғылары адамдарға әлеуетті қауіп төндіреді және оларды пайдалану кезінде қауіпсіздік талаптарын сақтамау төтенше жағдайлар орын алуына – апаттармен, өрттерге, оның салдары жазатайым оқиғаға әкелуі мүмкін. Дененің ток көзімен тікелей немесе доғалық жанасуы нәтижесінде пайда болатын электр күйіктері электр жұмыстарын орындау кезінде жиі кездеседі. 2000-2024 жылдардағы (ҚЭТТК



3-сурет – Қызылорда облысы электр энергетика саласы бойынша 2000-2024 жылдар арасындағы тіркелген жарақаттанудың басты себептері

АҚ) тіркелген мәліметтер бойынша, 48 зардап шегушінің 25 электр жарақатын алып, біреуі жеңіл, төртеуі орташа ауырлықтағы, бесеуі ауыр жарақат алып, 15 зардап шегуші қайтыс болған. 2023 жылы елімізде электр тогымен барлығы 25 адам зақымданса, оның алтауы 30 жасқа дейін, тоғызы 45 жасқа дейін, оны 46-60 жас аралығында болған [5].

Үлкен жұмыс өтілі де, мамандардың жоғары біліктілігі де зақымданудың болмауына кепілдік бермейді. Авторлардың пайымдауынша [6] жарақаттанудың екі шыңы бар, біріншісі еңбек өтілі, тәжірибесі аз жас жұмысшылар, екіншісі еңбек өтілі 10-15 жылдан асқандар тәжірибесі барлар. Екеуінде де қателіктер болады. Біріншісі белгілі, іс-тәжірибесі аз жастар десек, екіншісінің екі қателіктері болуы, біріншісі, жұмыстың анықтығы мен дәлдігіне әсер ететін қартаю процесіне байланысты психикалық және физиологиялық функциялардың төмендеуімен түсіндірілсе, екіншісі, күнделікті дағдымен тәжірибенің әсерінен қалыптасып, бойы үйреніп, қауіпке бейімделу нәтижесінде қауіпсіздік ережелерін елемеуден, абайсыздық орын алып, оның салдары жарақаттануға әкеледі. Статистикалық мәліметтер бойынша (ҚЭТТК АҚ), электр жабдықтарын орнату, жөндеу кезінде болған жазатайым оқиғалардан зардап шегетіндердің 50% – жоғарысы электр монтері, яғни, барлық жазатайым 48 оқиғада зардап шегушінің 28-нің иесі электр монтері, одан кейін электр слесары, монтаждаушы, дәнекерлеуші, сондай-ақ жол-көлік оқиғаларымен байланысты жүргізуші мамандықтарының жарақаттануы да орын алған [5, 6].

Энергетика саласы тәуекел мен қауіп сөзсіз болатын сала және оның ажырамас бөлігі болып табылады. Энергетика саласы персоналдары еңбегі өндірістің ауыр жүктемелері мен зияндылығымен ұштасады. Олар бірқатар қауіпті және зиянды факторларға ұшырай отырып, жоғары кернеумен және биіктікте жұмыс істеуге мәжбүр. Энергетикадағы тәуекелдерді азайтуға өндірістегі қауіпсіздікті оңтайлы ұйымдастырумен еңбекті қорғау шаралары арқылы қол жеткізуге болады. Сондықтан қазіргі уақытта энергетика қызметкерлері үшін қауіпсіз еңбек жағдайларын қамтамасыз ету, демек, еңбек тиімділігін арттыру үшін тәуекелдерді алдын-ала анықтап, оларды азайту үшін шаралар қабылдау қажет. Кәсіби қызметтерде еңбек қорғау және денсаулық сақтау саласындағы қауіптермен тәуекелдерді азайтумен жарақаттанудың алдын алуда ҚР СТ ISO 4500 1 – 2019. Еңбек қауіпсіздігі (ЕҚ) және денсаулық сақтау (ДС) менеджменті жүйесі стандарт талаптарына сәйкес, (4-сурет) келесі іс-шаралар жүргізу қауіптердің алдын алады. ЕҚ және ДС саласындағы қауіптерді жою және тәуекелдерді азайту дегеніміз: қауіпті жою немесе болдырмау; қауіпті жабдықтармен үдерістерді қауіпсізіне ауыстыру; техникалық құралдарды және басқару әдістерін дұрыс қолдану; қызметкерлерді қайта даярлауды ұйымдастыру және оған әкімшілік құралдармен басқару әдістерін пайдалану; зиянды әсерге қарсы жеке қорғаныс құралдарын пайдалану. Бұл бағалау жұ-

4-сурет – Еңбек қауіпсіздігі және денсаулық сақтау менеджменті жүйесі стандарт талаптарына сәйкес, ЕҚ және ДС саласындағы қауіптерді жою және тәуекелдерді азайту іс-шаралары

мысшылардың жарақат алу қаупін азайтуға және жұмыс кезінде жұмыс пен денсаулықты сақтауға мүмкіндік береді. Бұл шаралар жалпы жұмыс нәтижелерін жақсартуға, сондай-ақ еңбек қауіпсіздігі мен денсаулықты қорғауға бағытталған [7].

Электр желілері кешенінде еңбекті қорғау талаптарын қамтамасыз ету кезінде туындайтын ең өзекті мәселелер біліктілік талаптарына сәйкес келетін білікті кадрларды таңдау болып табылады (тарату желілерін пайдалану жөніндегі электрик, автокөлік жүргізушісі, таратушы жабдықты жөндеу жөніндегі электр монтері, т.б.). Көп жағдайда бос лауазымдарға тапсырған үміткерлердің электр қондырғыларында жұмыс тәжірибесі жоқ (көп жағдайда 30 жасқа дейін), тиімді және қауіпсіз өндірістік қызметті жүзеге асыру үшін кәсіби және жеке қасиеттері тұрақты қалыптаспаған болып келеді.

Энергетика саласындағы жарақатты барынша азайту мақсатында жазатайым оқиғалардың алдын-алу бірінші кезектегі міндет болып табылады. Электр жабдықтарының, электр желілерінің, нөлдеу және жерге тұйықтау жүйелерінің жай-күйін үнемі бақылауды жүзеге асыру, персоналды еңбектің қауіпсіз тәсілдеріне, оның ішінде электр қондырғыларымен, электр жабдықтарымен және басқа да электр энергетикасы объектілерінде жұмыс істеу кезінде электр қауіпсіздігі негіздері мен қауіпсіздік техникасына білікті оқытуды жүргізу қажет [7].

Қорытынды. Статистикалық мәліметтерді талдау мынадай қорытынды жасауға мүмкіндік береді:

1. Өндірістік жұмысты жоспарлау мен ұйымдастыруды жетілдіру қажет;
2. Қызметкерлердің өз өмірінің қауіпсіздігіне қамқорлық жасау мәдениетін тәрбиелеу керек;
3. Электр жабдықтарымен жұмыс істеу және биіктікте жұмыс істеу ережелерін қатаң сақтау өндірістік жарақаттардың деңгейін айтарлықтай төмендетеді;
4. Биіктікте жұмысты орындайтын адамның күйімен жағдайын бақылауға қабілетті жүйелерді енгізу өндірістік жарақаттардың айтарлықтай санын болдырмауға мүмкіндік береді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ерёмина Т.В., Калинин А.Ф., Гармаев А.Л.. Анализ электротравматизма на объектах электроэнергетики // Вестник ВСГУТУ. – 2016. – № 3 (60). – С. 28-31.
2. Тленшеева А.З., Қалиясқарова А.Ж., Балабас Л.Х., Сулейменов Н.М. Қызметкерлерді ынталандыру арқылы қауіпсіз еңбек жағдайын жасау // Университет еңбектері. – 2024. № 1 (94). – Б. 156-161.
3. Тхорь М.Е. Анализ несчастных случаев на производстве на основе теории Хенриха // Форум молодых ученых. 2019. № 6 (34). – С. 1178-1182.
4. Майстренко Е.В., Ибрагимова Н.И. Поведенческий аудит безопасности как инструмент повышения эффективности системы управления охраной труда // Высшее образование сегодня. – 2019. – № 1. – С. 49-53.
5. Статистика здравоохранения и социального обеспечения. https://stat.gov.kz/ru/industries/social-statistics/stat-medicine/publications/
6. Культура и психология в области охраны труда / Ирина Бурун, Татьяна Усенко // Журнал для специалистов электросетевого комплекса. Ежеквартальный спецвыпуск, март 2020. № 1 (16). – С. 6-13.
7. СТ РК ISO 45001-2019 «Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования и руководство по применению». https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=33300586.

Анализ безопасности травматизма и человеческого фактора на предприятиях электроэнергетики

[1]*ЕРМУХАНОВА Нуржамал Бахитжановна, *PhD, ассоциированный профессор, nurzhamal.yermukhanova@gmail.com,*
[1]СЫДЫКОВА Гулнар Кудайбергеновна, *к.т.н., ассоциированный профессор, sydykova77@mail.ru,*
[1]НУРЖАНОВА Диляра Бекмуратовна, *магистр, старший преподаватель, divadan2017@mail.ru,*
[2]БИСЕНГАЛИЕВА Асыл Макымовна, *магистр, старший преподаватель, B.a.m69@mail.ru,*
[1]АСАН Нурдаулет Сабырханович, *магистрант, sabyrkhanovich@bk.ru,*
[1]НАО «Кызылординский университет имени Коркыт Ата», ул. Айтеке би, 29а, Кызылорда, Казахстан,
[2]НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», ул. Жангир хана, 51, Уральск, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассмотрены причины и факторы производственного травматизма в электроэнергетической отрасли и анализ статистических данных травматизма в энергетической отрасли региона. Многие авторы приводят доказательства того, что основные травмы вызваны деятельностью человека, а не причинами, опасными условиями труда и оборудованием. Но поскольку энергетическая отрасль – это отрасль с высоким риском несчастных случаев, обе причины будут основными. Основной целью предприятия, производящего и распределяющего электроэнергию, является предотвращение несчастных случаев, устраняя риски, снижая риски, правильно подбирая квалифицированный персонал, в соответствии со стандартными требованиями системы менеджмента безопасности труда и здравоохранения для минимизации или предотвращения травм.*

Ключевые слова: *несчастный случай, электротравма, причины травматизма, электрический ток, падение с высоты, человеческий фактор, устранение опасности, снижение риска.*

Safety Analysis of Injuries and the Human Factor in Electric Power Industry Enterprises

[1]*YERMUKHANOVA Nurzhamal, *PhD, Associate Professor, nurzhamal.yermukhanova@gmail.com,*
[1]SYDYKOVA Gulnar, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, sydykova77@mail.ru,*
[1]NURZHANOVA Dilyara, *Master's Degree, Senior Lecturer, divadan2017@mail.ru,*
[2]BISENGALIEVA Asyl, *Master's Degree, Senior Lecturer, B.a.m69@mail.ru,*
[1]ASAN Nurdaulet, *Master's Student, sabyrkhanovich@bk.ru,*
[1]NPJSC «Korkyt Ata Kyzylorda University», 29a Aiteke bi Street, Kyzylorda, Kazakhstan,
[2]NPJSC «Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University», 51 Zhangir Khan Street, Oral, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The article examines the causes and factors of occupational injuries in the electric power industry and analyzes the statistical data of injuries in the energy sector of the region. Many authors provide evidence that the main injury is caused by human activity, rather than the causes, dangerous working conditions and equipment. But since the energy industry is an industry with a high risk of natural disasters, both causes will be major. The main goal of the power generation and distribution enterprise is to reduce or prevent injuries in accordance with the standard requirements of the Occupational Safety and health management system, eliminate risks, reduce risk, correctly select qualified personnel, and prevent accidents.*

Keywords: *accident, electrical injury, causes of injury, electric current, fall from height, human factor, elimination of danger, risk reduction.*

REFERENCES

1. T.V. Eremina, A.F. Kalinin, A.L. Garmaev. Analiz elektrotravmatizma na ob"ektakh elektroenergetiki. Vestnik VSGUTU. – 2016. – No. 3 (60). – Pp. 28-31.
2. A.Z. Tlensheeva, A.Zh. Қaliyasқarova, L.Kh. Balabas, N.M. Suleimenov Қyzmetkerlerdi yntalandyru arқyly қauipsiz eңbek zhaғdaiyn zhasau // Universitet eңbekteri. – 2024. No. 1 (94). – Pp. 156-161.
3. Tkhor' M.E. Analiz neschastnykh sluchaev na proizvodstve na osnove teorii Khenrikha. Forum molodykh uchenykh, 2019. No. 6 (34). – Pp. 1178-1182.
4. E.V. Maistrenko, N.I. Ibragimova. Povedencheskii audit bezopasnosti kak instrument povysheniya effektivnosti sistemy upravleniya okhranoi truda // Vysshee obrazovanie segodnya. – 2019. – No. 1. – Pp. 49-53.
5. Statistika zdravookhraneniya i sotsial'nogo obespecheniya. https://stat.gov.kz/ru/industries/social-statistics/stat-medicine/publications/.
6. Kul'tura i psikhologiya v oblasti okhrany truda / Irina Burun, Tat'yana Usenko / Zhurnal dlya spetsialistov elektrosetevogo kompleksa. Ezhekvartal'nyi spetsvypusk, mart 2020. No. 1 (16). – Pp. 6-13.
7. ST RK ISO 45001 – 2019 «Sistemy menedzhmenta bezopasnosti truda i okhrany zdorov'ya. Trebovaniya i rukovodstvo po primeneniyu». https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=33300586.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_87 ӘОЖ 542.67:539.215.2

Поликомпонентті сүзгі жүктемесінің ластаушы заттарды сіңіру көрсеткіштерін зерттеу

[1]**АЛИЕВА Бағила Бердуақасовна,** *докторант, alieva.bagila@mail.ru,*
[1]***КОЧЕРОВ Еркебулан Нургалиевич,** *т.ғ.к., доцент, Erkebulan083@mail.ru,*
[1]**РАМАТУЛЛАЕВА Лаззат Имамадиновна,** *т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, ramatullaeva_l@mail.ru,*
[1]**МАМИТОВА Айгуль Джанабаевна,** *т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, a-mamitova@mail.ru,*
[2]**БЕГИМБЕТОВА Айнур Серикбаевна,** *PhD, қауымдастырылған профессор, a.begimbetova@aues.kz,*
[1]*«Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Тәуке хан даңғылы, 5, Шымкент, Қазақстан,*
[2]*«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КеАҚ, А. Байтұрсынұлы көшесі, 126/1, Алматы, Қазақстан,*
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Динамикалық жағдайда берілген құрамның поликомпонентті сүзгі жүктемесінің сорбциялық және ион алмасу сыйымдылығына эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Сүзгіні жүктеудің екі түрі жер үсті ағынды суларына еліктеуіш ретінде дайындалған модельдік ерітінділермен таңдалды және қатар зерттелді. Поликомпонентті сорбенттер кешенінің компоненттерінің арақатынасын таңдау олардың гранулометриялық құрамын зерттеу негізінде жүргізілді. Сүзгі жүктемелеріндегі компоненттердің тиімді қатынасы анықталды. Динамикалық жағдайда берілген құрамның поликомпонентті сүзгі жүктемелерінің сорбциялық және ион алмасу сыйымдылығы эксперименталды түрде анықталды. Динамикалық жағдайларда поликомпонентті сүзгіш жүктемелердің сорбциялық және ион алмасу сипаттамаларын айқындау нәтижелері Түркістан облысы Кентау қаласының жер үсті ағынды суларын сорбциялық тазарту жолымен Қосқорған су қоймасының флорасы мен фаунасының қауіпсіздігін арттыру үшін пайдаланылатын болады.*

Кілт сөздер: *көп компонентті сүзгі, динамикалық шарт, ластаушы заттар, сорбциялық қасиеттер, ионалмасу үрдісі.*

Кіріспе. Динамикалық шарттарда ластаушы заттарды, таразыланған бөлшектерді жою ағынды суларды тазартудың маңызды және алмастырылмайтын кезеңі болып табылады, бұл өнеркәсіптік ағынды сулар және қалалық беттік ағынды суларды тазартудың салдарына ықпал етеді. Ластаушы заттар мен таразыланған бөлшектерді сулы фазадан бөліп алу үшін сүзгілеу, гравитациялық тұндыру, коагуляция және флокуляция секілді түрлі әдістер қолданылады.

Ағынды суларды тазартудағы соңғы тенденциялар табиғи және синтетикалық полимерлерге басымдық берілгенін көрсететті, себебі олар ортаның pH көрсеткішінің ауытқуын болдырмайды [1]. Бұл тенденция сонымен қатар адамзаттың тіршілік әрекеті мен денсаулығына, қоршаған табиғи орта компоненттеріне кері әсерін тигізбейтін шешімдерді де қарастыруда.

Өсімдіктерден, жануарлардан және микроағзалардан алынатын заттар, су экожүйесіне уытты әсерінің болмауы және таразыланған бөлшектерді жоюдағы тиімділігіне байланысты ағынды суларды тазарту саласында айтарлықтай назар аударылуда. Мысалы, крахмал, танин, Moringa oleifera және хитозан [2].

Сүзгілеу ортасын таңдау ағынды сулардың сапасына қойылатын талаптарға қол жеткізудің маңызды шешімдерінің бірі болып табылады [3]. Таңдалған орта белсенді биомассаның үлкен көлемін және түрлі микроағзалар популяциясын сақтаудағы

шешуші рөлді атқарады. Ең жиі қолданылатын орталар саз негізіндегі саздақтар, тақтатастар немесе пластик негізіндегі полиэтилен, полистирол және полиэстер типті түрлі жүктемелер [4]. Ұқсас өлшемді құм немесе пластикалық ортаны қолданған нәтижелермен салыстырғанда, керамзит секілді минералдық жүктеме негізіндегі сүзгілеу ортасы субстратты жоюдың өте жақсы көрсеткіштері ұсынылған [5]. Ережеге сәйкес, өнеркәсіптік керамикалық бөлшектердің шикізаттық құрамы саздан тұрады, негізінен ауылшаруашылығының ұзақ мерзімді тұрақты даму келешегіне қауіп төндіретін, ауылшаруашылығы алқаптарының саздары құрайды. Осыған орай, сазды барынша мүмкін алмастыратын қолайлы сүзгі материалдарын табу аса маңызды [6].

Сүзгілеу ортасында қолдануға таңдалған жүктеме материалының гранулометриялық өлшемдері үрдістің өнімділігіне тікелей әсер етеді және түрлі қалданбалар үшін ортаның түрлі оңтайлы өлшемдері ұсынылған [7]. Сондай-ақ, үшінші реттік тазалау сатысында өлшемдері 3 мм төмен жүктеме ортасын қолдану ұсынылған. 3-6 мм аралығындағы өлшемді сүзгі ортасы ағынды суларды тазартудың екінші сатысы үшін қолайлы деп таңдалған. Дегенмен, келесі зерттеулерде жоғарыда аталған сүзгі материалдарының бірі ғана сүзгілеуі ортасын зерттеуде қолданылған [8-10]. Келесі авторлар зерттеулерінде жүктеме қабатын қалыптастыру үшін, сүзгі ортасы ретінде пластикалық материал мен керамикалық материалдың түрлі салыстырмалы тығыздығында қолданған.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Тәжірибелік зерттеулер құрамында көлемі бойынша 20% перлит, 20% вермикулит және 60% құм мазмұндайтын сүзгілеуіш жүктемеге жүргізілді (сорбент ПВҚ). Сонымен қатар, сүзгілеуіш жүктеменің құрамындағы табиғи перлит сорбентін көмір өндірісінің қалдығы ішкі қазбалы жыныстарымен (бос жыныстар) алмастыра отырып салыстырмалы түрде қатар жүргізілді. Яғни, екінші сүзгілеуіш жүктеменің құраушы компоненттері келесідей: 20% ішкі қазбалы жыныстар (ІҚЖ), 20% вермикулит және 60% құм (сорбент ІҚЖВҚ).

Тәжірибелік зерттеулер 1-суретте келтірілген диаметрі 32 мм және жүктеме қабатының биіктігі 300 мм сүзгілеу бағанасында орындалды. Поликомпонентті сүзгілеу жүктемелерінің көлемі сәйкесінше (ПВҚ) көлемі 214 см^3 және салмағы 146 г және (ІҚЖВҚ) 241 см^3, салмағы 151 г. Тәжірибелік зерттеулер 1-кестеде көрсетілген шоғырларда мұнай өнімдері мен ауыр металдарды қатар мазмұндайтын модельдік ерітінділерге жүргізілді. Динамикалық шарттардағы тәжірибелік зерттеулер үшін беттік ағынды сулардың сапалық құрамы, қала территориясы аймақтарына тән көрсеткіштерге сәйкес қабылданды. Тәжірибе pH 5,8-6,0 мәнінде жүргізілді. Реакция ортасының аталған pH көрсеткіштерінде зерттелудегі ауыр металдар негізінен еріген күйде болады, яғни оларды аластату сорбциялық және ионалмасу үрдістерімен жүзеге асырылады. pH мәні жоғары болған шарттарда ауыр металдардың бір бөлігі ерімейтін гидрототықтар түріне өтіп кетеді, сондықтан оларды қосымша сүзу арқылы аластату қажет болады. Осылайша, зерттеу жұмыстары қала территориясының беттік ағынды сулары үшін мүмкін болатын мұнай өнімдері мен ауыр металдарды бөліп алу үшін қолайлы шарттарда жүргізілді.

Поликомпонентті ПВҚ және ІҚЖВҚ кешенді сорбенттерінің мұнай өнімдері мен ауыр металдарға қатысты динамикалық көлемдік сыйымдылықтарын анықтау мақсатында, сорбенттердің аталған ластаушы заттарға қатысты сорбциялық тиімділігін зерттеу осы заттардың модельдік ерітінділерінде жүргізілді.

Беттік ағынды су поликомпонентті сорбенттер қабаты арқылы 0,3 м/сағ жылдамдықпен өткізілді. Сорбциялау үрдісі сү-

1-кесте – Беттік ағынды су үлгісінің сапалық құрамы

№	Ластаушы заттың түрі	Ластаушы заттың бастапқы шоғыры, мг/л
1	Мұнай өнімдері	50
2	Қорғасын	50
3	Мыс	50
4	Мырыш	50
5	Темір	50
6	Алюминий	50
7	Кадмий	50

1-сурет – Динамикалық шарттарда полимкопонентті сүзгі қабатының сорбциялық және ионалмасу сипаттамаларын анықтауға арналған зертханалық қондырғы

зілген судағы ластаушы заттардың шоғыры бастапқы шоғырының мәніне жеткенге дейін жүргізілді.

Тәжірибелік мәліметтер бойынша мұнай өнімдері мен ауыр металдардың бастапқы шоғырының, поликомпонентті сүзгілер арқылы өткен беттік ағын су көлеміне тәуелділік графиктері тұрғызылды.

Сорбенттердтің динамикалық көлемдік сыйымдылығы (ДКС) төмендегі формула бойынша анықталды:

$$\text{ДКС} = \frac{(C_{\text{бас}} - C_{TT}) \cdot V}{m}, \qquad (1)$$

мұндағы ДКС – динамикалық көлемдік сыйымдылық, мг/г;

m – құрғақ сорбенттің массасы, г;

V – поликомпонентті сүзгіден өткен судың көлемі, л;

$C_{\text{бас}}$ – ластаушы заттардың бастапқы шоғыры, мг/л;

C_{TT} – фильтраттағы ластаушы заттардың тепе-теңдік шоғыры, мг/л.

Ерітіндідегі ластаушы затты бөліп алу дәрежесі, %:

$$E = \frac{C_{\text{бас}} - C_{TT}}{C_{\text{бас}}} \cdot 100. \qquad (2)$$

Қол жеткізілген тәжірибелік зерттеу нәтижелері (1) және (2) формулалар, 4 кесте мәліметтері және таралу коэффициенті, яғни сорбенттегі метал шоғырының ерітіндідегі шоғырына қатынасы бойынша сорбенттердің динамикалық сыйымдылықтарын есептеуге мүмкіндік берді. Ол төмендегі формула бойынша есептелді:

$$K_T = \frac{(C_{\text{бас}} - C_{TT}) \cdot V}{C_{TT} \cdot m}, \qquad (3)$$

мұндағы K_T – таралу коэффициенті, л/г;

m – құрғақ сорбенттің массасы, г;

V – поликомпонентті сүзгіден өткен судың көлемі, л;

$C_{\text{бас}}$ – ластаушы заттардың бастапқы шоғыры, мг/л;

C_{TT} – фильтраттағы ластаушы заттардың тепе-теңдік шоғыры, мг/л.

Массаалмасу аймағының ұзындығын l анықтау үшін төмендегі формула қолданылды:

$$l = \frac{L \cdot (t_{TT} - t_{\text{сер}})}{(t_{TT} \cdot f + t_{\text{сер}} \cdot (1 - \varphi))}, \qquad (4)$$

мұндағы L – сорбциялық қабаттың биіктігі, м;

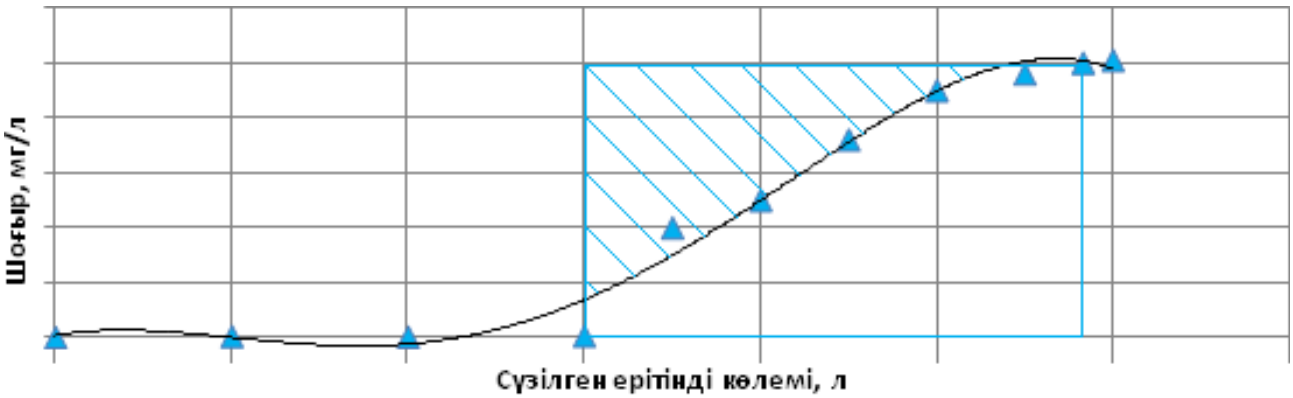
t_{TT} – тепе-теңдікке жету (сорбциялық сыйымдылығының толу) уақыты, сағ;

$t_{\text{сер}}$ – сүзгілеуіш жүктеменің қорғаныс әрекетінің (серпімділікке дейінгі) уақыты, сағ;

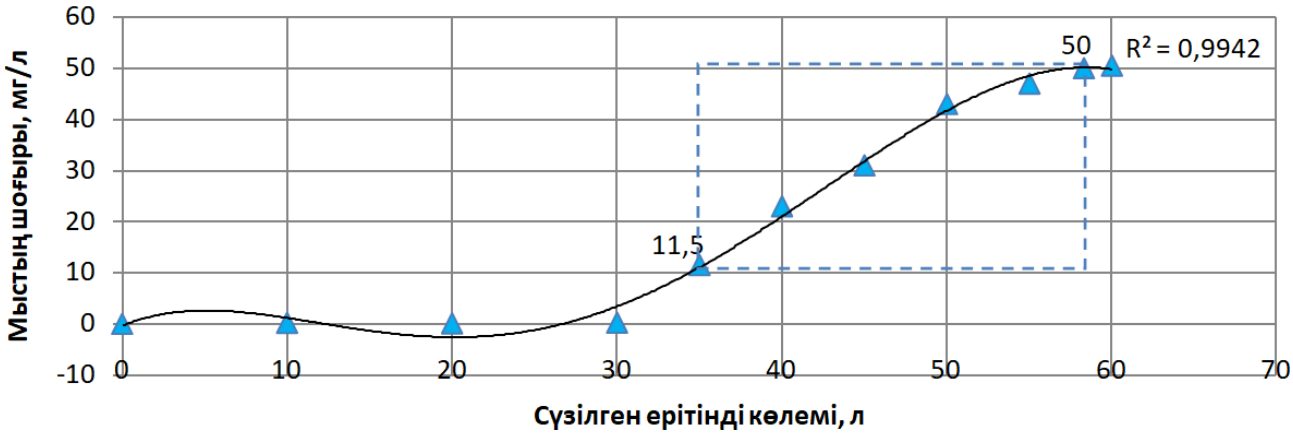
φ – шығыс қисығының үстіндегі фигура ауданының оның сипатталған тіктөртбұрыш ауданына қатынасы ретінде анықталатын шығыс сорбция қисығының симметриялық факторы (2-сурет).

Нәтижелер мен талқылаулар. Поликомпонентті сүзгі жүктемесі бар сорбциялық бағана арқылы сүзгілеуден кейінгі мұнай өнімдері мен ауыр металдардың сорбциялануы бойынша шығыс графиктері 3-4 суреттерде келтірілген.

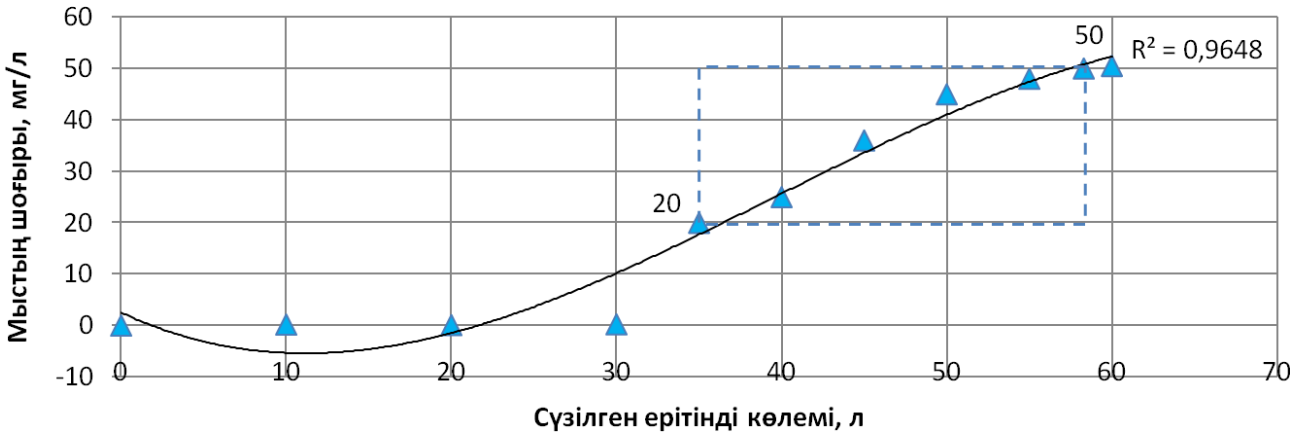
Тәжірибелік зерттеулер нәтижесінде ПВҚ және ІҚЖВҚ поликомпонентті сорбенттер кешені динамикалық шарттарда, мұнай өнімдерінің және ауыр металл иондарының суда бір мезгілде болуы шарттарында сорбциялық сіңіру қабілетін көрсететіні анықталды. Тұрғызылған график қисықтарының сипаты сорбент түріне тәуелді емес, яғни кез-келген металға қатысты ПВҚ және ІҚЖВҚ қисықтарының контурлары ұқсас. Сонымен қатар, уақыт бірлігіндегі сорбциялық жылдамдықтарының мәні де шамалас келеді. Тәжірибенің алғашқы 48 сағатында сорбенттер ауыр металл иондарының 60% жуығын сіңіреді. Бұл екі сорбент түрі мен сіңірілген метал-



2-сурет – Массаалмасу аймағының ұзындығын анықтау сұлбасы



3-сурет – ІҚЖВҚ сорбциялаудан кейінгі фильтраттағы мыстың шығыры



4-сурет – ПВҚ сорбциялаудан кейінгі фильтраттағы мыстың шығыры

дардың кеуектері арасындағы кеңістіктегі молекулааралық өзара әрекеттесу үрдістерінің ұқсастығын көрсетеді. Әрбір уақыт аралығында «сорбент – металл» жүйесіндегі өзара әрекеттесу жылдамдығы әртүрлі. Үрдіс жылдамдығының уақыт бойынша өзгеруі сорбенттердің гетерогендік сорбциялық орталықтарының болуымен және кейбір диф-

фузиялық қиындықтармен байланысты.

Қол жеткізілген нәтижелер негізінде сүзгілеуіш жүктемесінің сорбциялау әрекетінің уақыты, сонымен қатар сүзгілеуіш поликомпонентті жүктеменің динамикалық шарттардағы сорбциялық сыйымдылығы анықталды (2-кесте). Тәжірибелік зерттеулерді жүргізу шарттарында анықталған поликомпонентті сүзгілеуіш жүктеменің динамикалық сорбциялау көлемінің мәндері, қала территорияларының беттік ағынды суларын тазарту бойынша биосүзгілерді есептеуде қолданылуы мүмкін.

Қорытынды

Тәжірибе жүргізудің барлық кезеңінде мыстың сіңірілу дәрежесі жоғарылап отырды және 50,9 сағаттан кейін өзінің максимум деңгейіне жетеді. ПВҚ сорбенті мысты 60%, ал ІҚЖВҚ 77% сорбциялады. Бұл кезеңде тәжірибенің кейінгі сатысында алмасу адсорбция үрдісі орын алады, ол баяу жүруге бейім және сорбенттерде терең орналасқан ионалмасу орталықтарын қамтиды. Мыс иондарының десорбциялануы орын алмады.

Модельдік ерітінді мен ІҚЖВҚ сорбентінің 35 сағаттық байланысынан кейінгі мырыштың сорбциялану дәрежесі 75% болса, ал ПВҚ сорбенитімен 35 сағат байланыста болған кезінде мырыштың 52% ғана сіңірілді. Тәжірибе барысында бұл металдың сіңірілу дәрежесі іс жүзінде өзгермеді, тек 48 сағат өткеннен кейін ғана аталған металл түрінің ерітіндіге өтуі байқалды (ІҚЖВҚ – 3%, ПВҚ – 7%).

Сіңірілген заттар бойынша динамикалық сыйымдылық мәндерін талдау көрсеткендей, екі сорбент түрі де модельдік ерітінділерден ауыр металл иондарын да, мұнай өнімдерін де сіңіреді. Ауыр металл иондары мен зерттелудегі сорбенттерге қатысты динамикалық алмасу сыйымдылығының келесідей жоғарылау қатарына ие: Cd<Cu<Fe<Zn<Pb<Al.

Бұл «сорбент – ауыр металл» жүйесіндегі молекулааралық әрекеттесу үрдістерінің ұқсастығын көрсетеді. Сорбенттердің ионалмасу қасиеттері тәжірибе жүзінде дәлелденді. Бұл нәтижелерге бос жыныстың көмір өндірісінің ішкі қазбалы жыныстары мен вермикулиттің кеуектілігі есебінен қол жеткізіледі деп болжауға болады.

2-кесте – Поликомпонентті сүзгілеуіш жүктеменің динамикалық шарттардағы толық сорбциялық және ионалмасу сыйымдылығын тәжірибелік анықтау нәтижелері

Ластаушы заттар	Ластаушы заттардың бастапқы шоғыры, мг/л	Сыйымдылық көлемі толғанға дейінгі сүзгіден өткен ағынды су көлемі, л	Сыйымдылық көлемі толғанға дейінгі сүзгілеу уақыты, сағ	Толық сорбциялық (ионалмасу) сыйымдылығы, мг/г
Сорбент ІҚЖВҚ				
Мұнай өнімдері	50	62,50	53,90	17,85
Мыс	50	58,30	50,90	11,46
Алюминий	50	70,00	61,40	16,75
Қорғасын	50	77,50	67,90	16,57
Темір	50	50,80	44,40	11,52
Мырыш	50	72,50	47,70	15,00
Кадмий	50	58,70	51,40	9,74
Сорбент ПВҚ				
Мұнай өнімдері	50	62,50	53,90	11,82
Мыс	50	58,30	50,90	9,73
Алюминий	50	70,00	61,40	15,72
Қорғасын	50	77,50	67,90	15,78
Темір	50	50,80	44,40	11,21
Мырыш	50	72,50	47,70	11,25
Кадмий	50	58,70	51,40	8,13

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Brostow W., Hagg Lobland H.E., Pal S., Singh R.P., 2009. Polymeric flocculants for wastewater and industrial effluent treatment Arsenic Antibacterial Polymer Composites Based on Poly (Vinyl Chloride). J. Pal and Singh. J. Mater. Educ. 31 (4). http://wastewaterw.unt.edu/LAPOM.
2. Nimeshal S., Hewawasam C., Jayasankal D.J., Murakami Y., Araki N., Maharjan N. 2022. Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment. Glob. J. Environ. Sci. Manag. 8 (1), 101-116. https://doi.org/10.22034/GJESM.2022.01.08.
3. Y. Yu, Y. Feng and L. Qiu, W. Han, L. Guan. Effect of grain-slag media for the treatment of wastewater in a biological aerated filter. Bioresource Technol., 99 (2008), 4120-4123. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.001.
4. M. Rozic, S.C. Stefanonvic, S. Kuranjica, V. Vancina and E. Hodzic, Ammoniac nitrogen removal from water by treatment with clays and zeolites. Water Res., 34 (2000), 3675-3681. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00113-5.
5. R. Moore, J. Quarmby and T. Stephenson, Development of a novel lightweight media for biological aerated filters (BAFs). Proc. Third International Symposium on Biological Aerated Filters, Cranfield, UK, 3 March 1999, p. 7.
6. S. Han, Q. Yue and M. Yue, Effect of sludge-fly ash ceramic particles (SFCP) on synthetic wastewater treatment in an A/O combined biological aerated filter. Bioresource Technol., 100 (2009), 1149-1155. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.08.035.
7. L. Mendoza-Espinosa, T. Stephenson. A review of biological aerated filters (BAFs) for wastewater treatment, Environ. Eng. Sci. 16 (3), (1999), 201-216. https://doi.org/10.1089/ees.1999.16.201.
8. S.B. He, G. Xue, H.N. Kong. The performance of BAF using natural zeolite as filter media under conditions of low temperature and ammonium shock load, J. Hazard. Mater. 143 (2007), 291-295. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.024.
9. J.M. Galvez, M.A. Gomez, E. Hontoria, et al., Influence ofhydraulic loading and air flowrate on urban wastewater nitrogen removal with a submerged fixed-film reactor, J. Hazard. Mater. B101 (2003), 219-229. https://doi.org/10.1016/S0304-3894(03)00173-0.
10. M.A. Gomez, E. Hontoria, J. Gonzalez-Lopez, Effect of dissolved oxygen concentration on nitrate removal from groundwater using a denitrifying submerged filter, J. Hazard. Mater. B90 (2002), 267-278. https://doi.org/10.1016/S0304-3894(01)00353-3.

Изучение показателей поглощения загрязняющих веществ поликомпонентной фильтрующей загрузкой

[1]АЛИЕВА Багила Бердуакасовна, *докторант, alieva.bagila@mail.ru,*
[1]*КОЧЕРОВ Еркебулан Нургалиевич, *к.т.н., доцент, Erkebulan083@mail.ru,*
[1]РАМАТУЛЛАЕВА Лаззат Имамадиновна, *к.т.н., ассоциированный профессор, ramatullaeva_l@mail.ru,*
[1]МАМИТОВА Айгуль Джанабаевна, *к.т.н., ассоциированный профессор, a-mamitova@mail.ru,*
[2]БЕГИМБЕТОВА Айнур Серикбаевна, *PhD, ассоциированный профессор, a.begimbetova@aues.kz,*
[1]НАО «Южно-Казахстанский университет имени Мухтара Ауэзова», пр. Тауке хана, 5, Шымкент, Казахстан,
[2]НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», ул. А. Байтурсынова, 126/1, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Проведены экспериментальные исследования сорбционной и ионообменной емкости поликомпонентной фильтрующей загрузки заданного состава в динамических условиях. Были выбраны и параллельно исследованы два типа загрузки фильтра модель-*

ными растворами, приготовленными в качестве имитаторов поверхностных сточных вод. Выбор соотношения компонентов комплекса поликомпонентных сорбентов производился на основании изучения их гранулометрического состава. Определено эффективное соотношение компонентов в фильтрующих загрузках. Экспериментально определены сорбционная и ионнообменная емкости поликомпонентных фильтрующих загрузок заданного состава в динамических условиях. Результаты определения сорбционных и ионнообменных характеристик поликомпонентных фильтрующих загрузок в динамических условиях будут использованы для повышения безопасности флоры и фауны водохранилища Коскорган путем сорбционной очистки поверхностных сточных вод города Кентау Туркестанской области.

Ключевые слова: *поликомпонентный фильтр, динамические условия, загрязняющие вещества, сорбционные свойства, процесс ионного обмена.*

Study of Pollutant Absorption Indicators by Polycomponent Filter Loading

[1]ALIEVA Bagila, *Doctoral Student, alieva.bagila@mail.ru,*
[1]*KOCHEROV Yerkebulan, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, Erkebulan083@mail.ru,*
[1]RAMATULLAYEVA Lazzat, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, ramatullaeva_l@mail.ru,*
[1]MAMITOVA Aigul, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, a-mamitova@mail.ru,*
[2]BEGIMBETOVA Ainur, *PhD, Associate Professor, a.begimbetova@aues.kz,*
[1]NCJSC «Mukhtar Auezov South Kazakhstan University», 5 Tauke Khan Avenue, Shymkent, Kazakhstan,
[2]NPJSC «Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev», 126/1 A. Baitursynova Street, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *Experimental studies of the sorption and ion-exchange capacity of a multi-component filter bed of a given composition under dynamic conditions were conducted. Two types of filter bed were selected and simultaneously studied with model solutions prepared as imitators of surface wastewater. The ratio of the components of the multi-component sorbent complex was selected based on the study of their granulometric composition. The effective ratio of the components in the filter beds was determined. The sorption and ion-exchange capacities of multi-component filter beds of a given composition were experimentally determined under dynamic conditions. The results of determining the sorption and ion-exchange characteristics of multi-component filter beds under dynamic conditions will be used to improve the safety of the flora and fauna of the Koskorgan reservoir by sorption treatment of surface wastewater in the city of Kentau, Turkestan Region.*

Keywords: *multicomponent filter, dynamic conditions, pollutants, sorption properties, ion exchange process.*

REFERENCES

1. Brostow W., Hagg Lobland H.E., Pal S., Singh R.P., 2009. Polymeric flocculants for wastewater and industrial effluent treatment Arsenic Antibacterial Polymer Composites Based on Poly (Vinyl Chloride). J. Pal and Singh. J. Mater. Educ. 31 (4). http://wastewaterw.unt.edu/LAPOM.
2. Nimeshal S., Hewawasam C., Jayasankal D.J., Murakami Y., Araki N., Maharjan N. 2022. Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment. Glob. J. Environ. Sci. Manag. 8 (1), 101-116. https://doi.org/10.22034/GJESM.2022.01.08.
3. Y. Yu, Y. Feng and L. Qiu, W. Han, L. Guan. Effect of grain-slag media for the treatment of wastewater in a biological aerated filter. Bioresource Technol., 99 (2008), 4120-4123. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.001.
4. M. Rozic, S.C. Stefanonvic, S. Kuranjica, V. Vancina and E. Hodzic, Ammoniac nitrogen removal from water by treatment with clays and zeolites. Water Res., 34 (2000), 3675-3681. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00113-5.
5. R. Moore, J. Quarmby and T. Stephenson, Development of a novel lightweight media for biological aerated filters (BAFs). Proc. Third International Symposium on Biological Aerated Filters, Cranfield, UK, 3 March 1999, p. 7.
6. S. Han, Q. Yue and M. Yue, Effect of sludge-fly ash ceramic particles (SFCP) on synthetic wastewater treatment in an A/O combined biological aerated filter. Bioresource Technol., 100 (2009), 1149-1155. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.08.035.
7. L. Mendoza-Espinosa, T. Stephenson. A review of biological aerated filters (BAFs) for wastewater treatment, Environ. Eng. Sci. 16 (3), (1999), 201-216. https://doi.org/10.1089/ees.1999.16.201.
8. S.B. He, G. Xue, H.N. Kong. The performance of BAF using natural zeolite as filter media under conditions of low temperature and ammonium shock load, J. Hazard. Mater. 143 (2007), 291-295. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.024.
9. J.M. Galvez, M.A. Gomez, E. Hontoria, et al., Influence ofhydraulic loading and air flowrate on urban wastewater nitrogen removal with a submerged fixed-film reactor, J. Hazard. Mater. B101 (2003), 219-229. https://doi.org/10.1016/S0304-3894(03)00173-0.
10. M.A. Gomez, E. Hontoria, J. Gonzalez-Lopez, Effect of dissolved oxygen concentration on nitrate removal from groundwater using a denitrifying submerged filter, J. Hazard. Mater. B90 (2002), 267-278. https://doi.org/10.1016/S0304-3894(01)00353-3.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_95 ӘОЖ 622.83

Қазымдау аймағындағы қазу жұмыстарының жерүсті нысандарына әсерін болжау

ХУАНГАН Нурбол, *PhD, қауымдастырылған профессор, khuangan-nur@mail.ru,*
АСАИНОВ Сергей Турсынович, *т.ғ.к., аға оқытушы, 2008_as@mail.ru,*
****АЙТПАЕВА Арайлым Рымбековна,*** *PhD, аға оқытушы, aytpaeva0104@mail.ru,*
«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,

**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Қарағанды көмір бассейнінің өнеркәсіптік алаңы көмір өндіруге арналған жер асты қазбаларының әсер ету аймақтарында орналасқан жерүсті инженерлік коммуникациялардың әртүрлі болуымен ерекшеленеді. Бағаналы тау-кен жүйесі бар көмір қабаттарын өндіру кезінде төбе әдетте оның толық құлауымен басқарылады, бұл тау жыныстарының табиғи кернеулік күйінің сөзсіз бұзылуына және жер бетінде ығысу шұңқырының пайда болуына әкеледі. Тау-кен өнеркәсібінің әсер ету аймағында орналасқан, ықтималдығы жоғары жер үсті объектілері айтарлықтай зақымдалуы немесе қирауы мүмкін. Мысал ретінде мақалада Қарағанды көмір бассейнінде жер астында көмір өндіретін «СТС-1» ЖШС Киров шахтасының жағдайында 23$К_{10}$-3 лавасын өндірудің салдары қарастырылады. «СТС-1» ЖШС Киров шахтасы учаскесінің ауданы Қарағанды бассейнінің солтүстік-шығыс бөлігінде орналасқан: шахтаның өндірістік алаңының оңтүстігінде, 3 км қашықтықта, жойылған шахтаның өрісі орналасқан. Октябрь революциясының 50 жылдығы; оңтүстік-шығыста, шахтадан 4 км қашықтықта орналасқан. Костенко; 2,5 км – жабылған Горбачев атындағы шахтасының өрісі. Қоныстану аймағына дейінгі ең жақын қашықтық-солтүстік-батысқа қарай 250÷300 м (Фин кенті). Пришахтинск тұрғын алабы кәсіпорыннан солтүстік-батысқа қарай 1000 м жерде орналасқан.*

Кілт сөздер: *көмір шахтасы, тау-кен жүйесі, толық күйреу, ығысу науасы, геомеханика, бұзу, соңғы элементтер әдісі, негізгі кернеулер, беттік шөгу және ығысу.*

Кіріспе

Кен өндіруге арналған учаске бұрынғы Горбачев шахтасының кен орнында орналасқан.

23-$К_{10}$-З учаскесін игеру кезінде күрделендіретін фактор тау-кен жұмыстарының әсер ету аймағында бірқатар жер үсті объектілерінің орналасуы болып табылады (1-суретті қараңыз): ЛЭП-35кВ, Горбачев 35/6 қосалқы станциясы (ПУ «Энергоуголь» КД АҚ «АрселорМиттал Темиртау»), бұрынғы Горбачев шахтасының АБК ғимараты, су қоймасы (учаскенің шекарасынан жер бетімен 70 м).

Кен орнының геологиялық құрылымына карбон, юра, неогендік және төрттік дәуірдегі шөгінділер жатады. Карбон шөгінділер $К_7$÷$К_{12}$ көмір қабаттарының аралықтарында орташа керілген Қарағанды свитасымен ұсынылған. $К_{10}$÷$К_{12}$ қабаттарының арасында қалыңдығы 40 м қабаттасатын аргиллиттер мен құмтастардың қалыңдығы жатыр. $К_{12}$ қабатының үстінде оны $К_{13}$ қабатынан бөлетін қалың 96 метр қалыңдық бар.

Тектоникалық тұрғыдан кен орны Қарағанды синклиналінің солтүстік-батыс қанатында орналасқан. Көмір қабаттарының пайда болуы тыныш, моноклинальды, олардың құлау бұрыштары 7÷12°, орташа мәні 9°. $К_{12}$, $К_{10}$, $К_7$ қабаттары бойынша орын ауыстыру амплитудасы 0,5-тен 3,0 м-ге дейінгі төмен амплитудалық бұзылыстың дамуы анықталды.

Көмір қабатының негізгі төбесі мен топырағы әдетте құмтастардан тұрады. Қабаттың тікелей төбесі мен топырағы негізінен алевролиттерге жол беретін аргиллиттермен ұсынылған. Құмтастардың беріктігі 100÷400 м тереңдік диапазонында 510÷586 кг/см^2 шегінде. Алевролиттердің беріктігі 350-ден 500 кг/см^2-ге дейін. Қабатқа тікелей түсетін қалыңдығы 1 м-ге дейінгі аргиллиттер, әдетте, тұрақсыз, олар эндо- және экзокливаждың тығыз желісімен бөлінген, олардың беріктігі сирек 150 кг/см^2-ден асады.

$К_{10}$ қабатын өңдеу үшін 2ОКП-70В меха-

никаландырылған кешені қолданылады.

«СТС-1» ЖШС Киров шахтасы учаскесінің тау-кен шекараларын РЦГИ «Қазгеоинформ» Геология және жер қойнауын қорғау комитеті көмір өндіруге арналған келісімшарт негізінде бекітті [1, 10, 11].

$К_{10}$ қабатының батыс блогының шекаралары, «Бұрынғы Горбачев шахтасының күрделі қазбалары астында қауіпсіздік тіректерінде уақытша консервіленген» ретінде есепке алынған»:

- солтүстікте – +360 м белгісі бар көкжиек бойынша жоғарғы техникалық шекара;
- оңтүстігінде – +220 м белгісі бар көкжиек бойынша төменгі техникалық шекара;
- батыста – кен орны бұрынғы №20, «Rapid» ЖШС фирмасы;
- шығыста – бұрынғы шахтаның №18 Негізгі кен орны.

Қабат өлшемдері:

- – 400 м созылу бойымен;
- – 600 м құлау бойынша.

Зерттеудің мақсаты – «СТС-1» ЖШС Киров шахтасының 23$К_{10}$-3 лава өндірісінің бұрынғы Горбачев шахтасының өнеркәсіптік алаңының жер үсті объектілеріне әсерін бағалау.

Материалдар мен зерттеу әдістері

23-$К_{10}$-3 қазба учаскесінің жер үсті инфрақұрылымының жай-күйіне әсерін геомеханикалық бағалауды жүргізу кезінде соңғы элементтер әдісін қолдану арқылы сандық модельдеу әдісі қолданылды.

Модельдеу «Comsol Multiphisics» және «Matlab» бағдарламалық кешендерінің ортасында жүзеге асырылады.

Сыртқы жүктемелер мен ішкі (массалық) күштердің әсерінен тау жотасындағы кернеулер мен деформацияларды зерттеуді соңғы элементтер әдісінің (МЭК) тілін, әдістерін және терминологиясын қолдану арқылы шешуге болады [2, 3, 9]. Әдетте жазық есеп шешіледі, онда кернеу күйінің параметрлері көрсетілген немесе кез келген болжамды ең қауіпті кесінділерде есептеледі.

Массивтегі кернеулер мен деформацияларды сандық мәндерін есептеу соңғы элементтер әдісін жүзеге асыратын және ғылыми-инженерлік зерттеулерге арнайы бағытталған MATLAB біріктірілген бағдарламалық пакетінің ортасында орындалады [4-8].

Массивтегі кернеулер мен деформациялар үстіңгі жыныстардың γH гидростатикалық қысымының, бүйірлік қысым күштерінің λγH және ішкі (массалық) күштердің ρg әсерінен пайда болады. Бұл күштерде мыналар көрсетілген: γ – үстіңгі жыныстардың орташа өлшенген көлемдік салмағы, МН/м^3; ρ – үстіңгі жыныстардың орташа өлшенген тығыздығы, МН/м^3; g – тұрақты 9,8 м/с^2; λ – бүйірлік кеңею коэффициенті, кен орнының нақты жағдайлары үшін анықталады.

Тау жыныстарының серпімді-пластикалық ортасының күйін модельдеу кезінде кен орнының белгілі бір аймағына тән тау жыныстарының физикалық-механикалық қасиеттері, Е – тау жыныстарының серпімділігінің статикалық модулі (Юнг модулі), МПа; ν – Пуассон коэффициенті; φ – ішкі үйкеліс бұрышы, градус қолданылады.

Серпімділік теориясының теңдеулерін сандық шешу нәтижесінде MATLAB пакетінің бағдарламасы тау жыныстарының кернеулі-деформациялық күйін сипаттайтын параметрлердің толық тізімін есептейді және шығарады:

- кернеулер – тік, көлденең, негізгі, тангенциалды;
- деформациялар мен орын ауыстырулар – ығысу, тік, көлденең, нәтижесінде.

Жер асты тау-кен жұмыстарының жер үсті объектілерінің жай-күйі мен тұрақтылығына әсерін бағалау максималды тік және нәтижесінде пайда болатын деформациялар (орын ауыстырулар) арқылы жүзеге асырылады.

Модельдеу және есептеулер үшін қабылданған бастапқы деректер:

- қосалқы станция аймағындағы жер бетінен тереңдігі 231 м;
- беткі қабатының ұзындығы 160 м;
- қабаттың алынатын қалыңдығы 3,5 м;
- Тау жыныстары қабаттарының физикалық-механикалық қасиеттері «Қарағанды көмір бассейнінің» анықтамалығы бойынша қабылданған:

а) серпімділік модулі:

- құмтастар (қабаттар қалыңдығының 48%-ы) $Е_{макс}$=380000кг/см^2=3,8*10^4 МПа;
- аргиллиттер $Е_{макс}$=91000кг/см^2=0,91*10^4 МПа;

Орташа өлшенген серпімділік модулі $Е_{ср.взв}$=1,678*10^4 МПа;

b) Пуассон коэффициенті ν=0,2;

b) қабаттасатын қабаттың көлемдік салмағы γ=2500 кг/м^3.

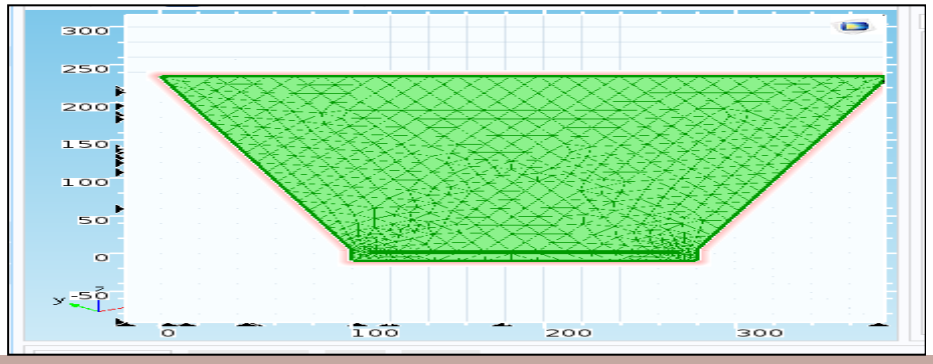
Сандық модельдеу нәтижелері

Шөгулер мен беттік ығысуларды есептеу үш нұсқа бойынша орындалады.

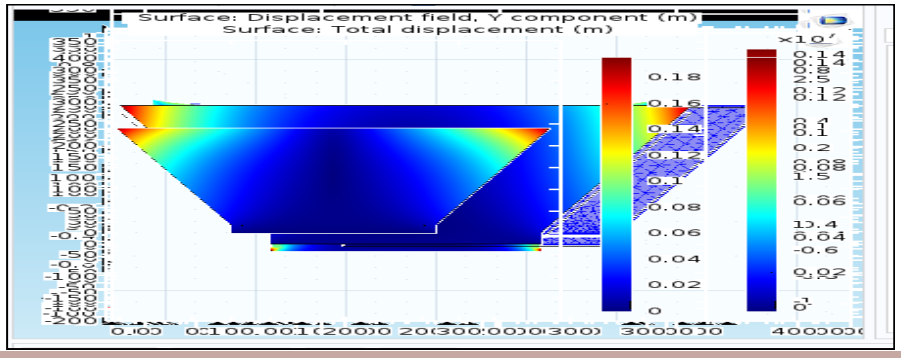
Есептеу схемасы 1-суретте көрсетілген. Модельдеу нәтижесінде алынған мульданың ығысу графикалық өрістері, сондай-ақ тік шөгу және мульданың бетінің толық ығысу графиктері 2, 3, 4 және 5-суреттерде көрсетілген.

1 нұсқа – 2,35*104 МПа серпімділік модулі қабылданды; (Квар есебімен=+40%)

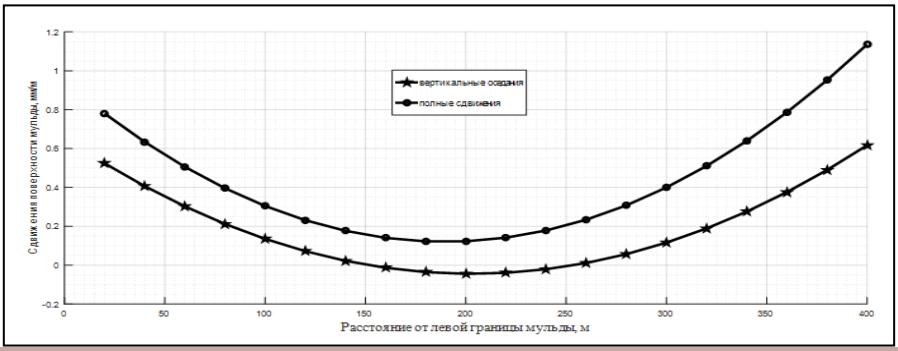
2 нұсқа – ЛЭП тірек ауданы, N=270 м, орташа өлшенген серпімділік модулі Е=1,68*10^4 МПа, Пуассон коэффициенті 0,2, тау жыныстарының қабаттарының көлемдік



1-сурет – Ақырлы элементтер әдісінің есептеу схемасы



2-сурет – Мульданың графикалық ығысу өрісі



3-сурет – Мульда бетінің тік шөгуінің және толық ығысуының графиктері

салмағы 2500 кг/м^3.

1-2 кестелерінде ұсынылған деректер массивінің кернеулі-деформациялық күйін сандық модельдеу кезінде алынған жалпылау әзірлеу учаскесін өңдеу кезінде салыстырмалы тік беттік шөгулер 0,551 мм/м аспайтынын көрсетеді. Массив бетінің салыстырмалы нәтижелі ығысуы есептеулер бойынша шамамен 1,04 мм/м құрайды.

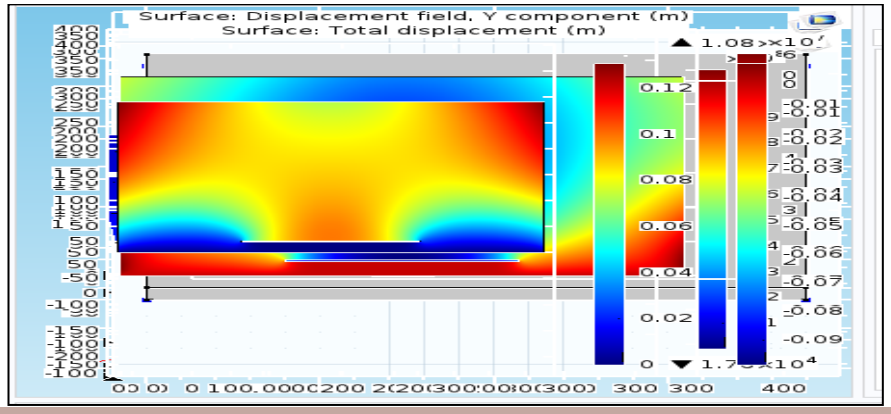
Осылайша, модельдеу нәтижелері бойынша жер үсті объектілерінің тұтастығы бұзылмайды.

Қорытынды

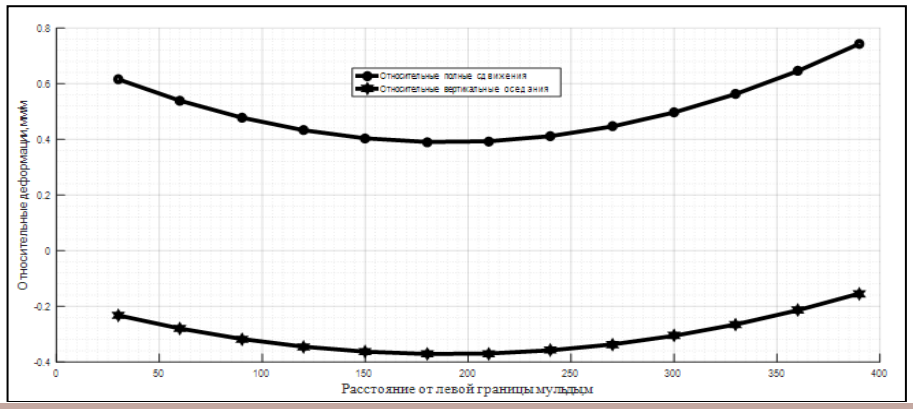
Жүргізілген зерттеулердің нәтижелеріне сүйене отырып, «Comsol Multiphisics» және «Matlab» бағдарламалық кешендерінің ортасындағы соңғы элементтер әдісін пайдалана отырып, сандық модельдеу арқылы қазба алаңдарын өндірудің жер үсті объектілеріне ықтимал әсерін болжамды бағалау табиғи жағдайларға барабар нәтижелерді алуға мүмкіндік береді. Бұл тұжырым «СТС-

1-кесте – Мульда бетінің есептелген шөгуі мен ығысуының сандық мәндері

Мульданың сол жақ шекарасынан қашықтығы, м	Шөгулер мен ығысулар			
	Тік шөгулер, мм	Салыстырмалы тік шөгулер, мм/м	Толық ауысымдар, мм	Салыстырмалы толық ауысулар, мм/м
30	88	0,46	134	0,70
90	57	0,302	96	0,50
120	32	0,171	66	0,35
150	14	0,071	44	0,23
180	0,5	0,003	30	0,16
210	-6,80	-0,035	23	0,12
240	-8,3	-0,044	25	0,13
270	-4,0	0,021	34	0,18
300	6,0	0,032	51	0,27
330	22	0,116	76	0,40
360	44	0,230	109	0,57
390	71	0,375	149	0,79



4-сурет – Негізгі қалыпты + кернеулер өрісі



5-сурет – Ауысу мульдасының бетінің деформация графиктері

2-кесте – Есептелген шөгулердің сандық мәндері және мульда бетінің ығысуы

Мульданың сол жақ шекарасынан қашықтығы, м	Шөгулер мен ығысулар			
	Тік шөгулер, мм	Салыстырмалы тік шөгулер, мм/м	Толық ауысымдар, мм	Салыстырмалы толық ауысулар, мм/м
30	-44	-0,23	117	0,61
90	-53	-0,28	102	0,54
120	-60	-0,32	91	0,48
150	-66	-0,34	82	0,43
180	-69	-0,36	77	0,40
210	-71	-0,37	74	0,39
240	-70	-0,37	75	0,39
270	-68	-0,36	78	0,41
300	-64	-0,34	85	0,45
330	-58	-0,30	94	0,50
360	-50	-0,26	107	0,56
390	-41	-0,21	122	0,64

1» ЖШС Киров шахтасында $23К_{10}$-З лавасын өндіру аяқталғаннан кейінгі жер үсті инфрақұрылым объектілерінің нақты жағдайымен расталады.

Мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын «Жас ғалым» 2025-2027 жылдарға арналған жобасы бойынша жас ғалымдардың зерттеулері, AP25793783 «Геологиялық бұзылыстар аймағында таукен жұмыстарын өту кезінде лақтырысқа қарсы шараларды әзірлеу» гранттық қаржыландыруы аясында дайындалды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Жобаға қосымша «Тауларды ашу және дайындау жобасын қайта қарау +310,0 м Киров шахтасының тереңдігінде қалған қорларды өндіру үшін барлау-пайдалану учаскесі. Түзетулерімен». «К10 қабатының көмір қорын өндіру «Бұрынғы Горбачев шахтасының күрделі қазбаларының астындағы күзет тіректерінде уақытша консервіленген ретінде есепке алынады».
2. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987. 221 с.
3. Коткин Г.А., Черкасский В.С. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием MATLAB. Новосибирск, 2001. 173 с.
4. «Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов угольных шахт». Утв. Приказом Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 декабря 2014г. №351 (на русском языке).
5. Фокин В.Г. Метод конечных элементов в механике деформируемого твердого тела: учебное пособие. – Самара, 2010. – 130 с.
6. «Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов угольных шахт». Утв. Приказом Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 декабря 2014г. № 351 (на русском языке).
7. Корнилков М., Половов Б. Геомеханическое обеспечение шахтного и подземного строительства: / учебник. – М., 2017. – 1000 с. (на русском языке).
8. Боровков Ю.А. Геомеханика: учебник. – М.: «Лань», 2020. – 356 с.

9. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ: учебник для вузов. – М.: Горная книга, 2012. – 480 с. (на русском языке).
10. Терентьев Б.Д., Мельник В.В., Абрамкин Н.И. Геомеханическое обоснование подземных горных работ: учебник. – М.: Горная книга, 2018. (на русском языке).
11. Каспарьян Э.В., Козырев А.А., Иофис М.А. Геомеханика: учебник. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2016. – 271 с. (на русском языке).

Прогнозирование влияния отработки выемочного участка на состояние подрабатываемых поверхностных объектов

ХУАНГАН Нурбол, *PhD, ассоциированный профессор, khuangan-nur@mail.ru,*
АСАИНОВ Сергей Турсынович, *к.т.н., старший преподаватель, 2008_as@mail.ru,*
****АЙТПАЕВА Арайлым Рымбековна,*** *PhD, старший преподаватель, aytpaeva0104@mail.ru,*
НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,

**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Промышленная площадка Карагандинского угольного басеейна отличается наличием разнообразных поверхностных инженерных коммуникаций, расположенных в пределах зон влияния подземных горных работ по добыче угля. При отработке угольных пластов столбовой системой разработки управление кровлей осуществляется, как правило, путем её полного обрушения, что приводит к неизбежному нарушению природного напряженного состояния горного массива и образованию на поверхности мульды сдвижения. Поверхностные объекты, расположенные в пределах зоны влияния отработки, с большой долей вероятности могут быть серьезно повреждены или даже разрушены. В качестве примера в статье рассмотрены последствия отработки лавы 23К$_{10}$-З в условиях шахты Кировская ТОО «СТС-1», осуществляющей добычу угля подземным способом в Карагандинском угольном бассейне. Поле участка шахты Кировская ТОО «СТС-1» расположено в северо-восточной части Карагандинского бассейна: южнее промплощадки шахты, на расстоянии 3 км, находится поле ликвидированной шахты им. 50-летия Октябрьской революции; юго-восточнее, в 4 км от шахты, расположено поле шахты им. Костенко; в 2,5 км – поле ликвидированной шахты им. Горбачева. Ближайшее расстояние до селитебной зоны – 250÷300 м на северо-запад (поселок Финский). Жилой массив Пришахтинск находится в 1000 м к северо-западу от предприятия.*

Ключевые слова: *угольная шахта, система разработки, полное обрушение, мульда сдвижения, геомеханика, подработка, метод конечных элементов, главные напряжения, оседания и сдвижения поверхности.*

Prediction of the Infuence of the Minng of the Extaction Are on the Stae of the Undrmined Surace Objcts

KHUANGAN Nurbol, *PhD, Associate Professor, khuangan-nur@mail.ru,*
ASAINOV Sergey, *Cand. of Tech. Sc., Senior Lecturer, 2008_as@mail.ru,*
****AYTPAEVA Arailym,*** *PhD, Senior Lecturer, aytpaeva0104@mail.ru,*
NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue,
Karaganda, Kazakhstan,

**corresponding author.*

Abstract. *The industrial site of the Karaganda coal basin is distinguished by the presence of a variety of surface engineering communications located within the zones of influence of underground mining for coal mining. When mining coal seams with a pillar mining system, the roof is usually controlled by its complete collapse, which leads to an inevitable violation of the natural stress state of the rock mass and the formation of a shear trough on the surface. Surface*

objects located within the zone of influence of mining, with a high degree of probability, can be seriously damaged or even destroyed. As an example, the article considers the consequences of mining the longwall $23K_{10}$-Z in the conditions of the Kirovskaya mine of STS-1 LLP, which mines coal underground in the Karaganda coal basin. The field of the Kirovskaya Mine site of STS-1 LLP is located in the northeastern part of the Karaganda basin: south of the mine's industrial site, at a distance of 3 km, is the field of the liquidated mine named after the 50th anniversary of the October Revolution; south-east, 4 km from the mine, is the field of the mine named after. Kostenko; 2.5 km away is the field of the Gorbachev mine. The nearest distance to the residential area is 250-300 m to the northwest (Finsky village). The residential area of Prishakhtinsk is located 1000 m northwest of the enterprise.

Keywords: *coal mine, mining system, full collapse, shear trough, geomechanics, undermining, finite element method, principal stresses, surface subsidence and shear.*

REFERENCES

1. V.G. Fokin «Finite Element Method in Solid Mechanics», Textbook, Samara, 2010. (in Russian).
2. A.B. Fadeev. The finite element method in geomechanics. Moscow: Nedra, 1987. 221 p.
3. G.A. Kotkin, V.S. Cherkassky Computer modeling of physical processes using MATLAB. Novosibirsk, 2001. 173 p.
4. «Rules for ensuring industrial safety for hazardous production facilities of coal mines», Approved. Order of the Minister for Investments and Development of the Republic of Kazakhstan dated December 30, 2014. No. 351. (in Russian).
5. V.G. Fokin «Finite Element Method in Solid Mechanics», Textbook, Samara, 2010. (in Russian).
6. «Rules for ensuring industrial safety for hazardous production facilities of coal mines», Approved. Order of the Minister for Investments and Development of the Republic of Kazakhstan dated December 30, 2014. No. 351. (in Russian).
7. Kornilkov M., Polovov B. Geomechanical support of mine and underground construction: textbook. – Moscow, 2017. – 1000 p. (in Russian).
8. Borovkov Yu.A. Geomechanics: textbook. – Moscow: «Lan», 2020 – 356 p.
9. Galperin A.M. Geomechanics of open pit mining: / textbook for universities. – Moscow: «Mining book», 2012. – 480 p. (in Russian).
10. Terentiev B.D., Melnik V.V., Abramkin N.I. Geomechanical substantiation of underground mining: textbook. – Moscow: «Mining book», 2018. (in Russian).
11. E.V. Kasparyan, A.A. Kozyrev, and M.A. Iofis. Geomechanics: textbook. – Murmansk: Publishing House of Moscow State Technical University, 2016. – 271 p. (in Russian).

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_102 ӘОЖ 622.271.3

Кешенді кен орындарын ашық тәсілмен игеру кезінде торлы-тораптық модельдеу

[1]ҚҰТТЫБАЕВ Айдар Ермекқалиұлы, *т.ғ.к., профессор, a.kuttybayev@satbayev.university,*
[1]*КОЖАНТОВ Арыстан Узакбаевич, *т.ғ.к., аға оқытушы, a.kozhantov@satbayev.university,*
[2]СМИРНОВ Андрей Николаевич, *т.ғ.к., аға ғылыми қызметкер, sm.contur24@gmail.com,*
[3]ЖИЕНБАЕВ Абзал Бахитович, *PhD, геомеханикалық бөлімі бастығының орынбасары, Zhienbaev@list.ru,*
[1]ҚУАНТАЕВ Нұржан Әлібекұлы, *докторант, 93022760046-d@satbayev.university,*
[1]«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 22а, Алматы, Қазақстан,
[2]Н.С. Поляков атындағы геотехникалық механика институты, Симферополь көшесі, 2а, Днепр, Украина,
[3]«Қазақмыс корпорациясы» ЖШС, Сәтбаев алаңы, 1, Жезқазған, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Кешенді кен орындарында карьердің жұмыс аймағы параметрлерін торлы-тораптық модельді пайдалана отырып оңтайландыру әдістемесі әзірленді. Бұл әдіс терең деңгейжиектерді аршу жұмыстарының үлкен көлемі кезінде шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Әрбір өндіру кезеңінде ағымдағы түбі, жұмыс деңгейжиектерінің оңтайлы пішіні, өлшемдері мен орналасуы анықталады. Геологиялық жағдайлар, кеннің құрамы, технологиялық шектеулер және экономикалық факторлар критерийлер жүйесі ($k_{вс}$, $k_{кд}$, Z_j) арқылы ескеріледі. Тау-кен жұмыстарының кез келген орналасуына байланысты көлемдік-сапалық және экономикалық көрсеткіштерді есептеу әдісі ұсынылды. Әсіресе біртекті емес, кешенді кен орындары үшін жобалау барысында критерийлер жиынтығын қолдану қажеттілігі негізделді. Әртүрлі тиімділікке ие контур нұсқаларын қалыптастыратын критерийлер изосызықтарын құру алгоритмі жасалды.*

Кілт сөздер: *карьер, жұмыс аймағы, торлы-тораптық модель, кешенді кен орны, аршу коэффициенті, математикалық модельдеу.*

Кіріспе. Пайдалы қазбалардың терең жатқан кешенді кен орындарын игеруді жоспарлау және жедел басқару тау-кен күрделі және аршу жұмыстарының үлкен көлеміне негізделген елеулі техникалық-экономикалық тәуекелдермен ұштасады [1-3]. Карьерді тереңдету жұмыстарының әрбір кезеңінде оның жұмыс алаңын (ағымдағы түбі мен жағдауларын) тиімді қалыптастыруды қарастырды. Зерттеу жағдайы, жұмыс аймағының формасы мен мөлшері бойынша таңдап алынған шешім ашу көлемінің негізсіз өсуіне, өндірілетін кеннің сапасының нашарлауына және соның салдарынан кен орнын игерудің экономикалық тиімділігінің төмендеуіне алып келеді [4, 5].

Зерттеу әдістері. Қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін көрсетілген әдістерді қолдана отырып, келесідей міндеттер шешілді:

1. Торлы-тораптық модельді қалыптастыру: кен орнының стандартты блокты дискретті моделін (әрбір таңдалған блоктағы кеннің және таужынысының көлемі, сапасы туралы деректермен) үш өлшемді торлы-тораптық құрылымға айналдыру, модельде: кеңістіктік координаттар, көлемдік-сапалық көрсеткіштер (тау-кен массасының типі, кеннің сорты, пайдалы компоненттердің құрамы); өңдеу контурларына қатысты жағдай.

2. Тау-кен геометриялық және экономикалық есептерді орындау үшін қарапайым операциялардың құрылымдалған жиынтығын құру: кондициялар бойынша қорларды контурлау; Кенді түрлері мен сорттары бойынша топтастыру, берілген контурлардағы кеннің, жыныстың, тау массасының көлемін есептеу; Қазу басталғаннан бастап ағымдағы және орташа ашу коэффициентін ($k_{вс}$) есептеу; Алынатын кеннің кондициялық коэффициентін ($k_{кд}$) анықтау.

Оңтайландыру әдістемесі:

Тау-кен деңгейжиектерінің жоспарларында $k_{кд}$ немесе Z_j мәндерінің оқшаулағыштарын құру.

Үлгі тораптары арасында сызықтық ин-

терполяция әдісімен оқшаулау нүктелерінің координаттарын анықтау.

Жұмыс аймағының баламалы нұсқаларын білдіретін тұйық контурларды (берілген деңгейдегі оқшаулағыштар, мысалы, Z_j=const) қалыптастыру.

Әрбір алынған контурдың ішіндегі барлық кеңістік үшін шығындылық коэффициентін есептеу.

Z_j (Z_j->min) ең аз мәніне сәйкес келетін жұмыс аймағының оңтайлы нұсқасын таңдау.

Ұсынылатын әдістеменің ғылыми жаңалығы оңтайландыру критерийлерінің оқшаулау желілерін құру үшін негіз ретінде кен орнының торлы-тораптық моделін қолданудан тұрады. Жұмыс аймағының контурын қалыптастыру үшін сызықтық интерполяция әдісімен $k_{кд}$ және Z_j оқшаулағыштарын құру алгоритмін әзірлеу. Өлшемдер жүйесін ($k_{вс}$, $k_{кд}$, Z_j) және кешенді кен орындарының ерекшелігін ескеретін жұмыс аймағының параметрлерін таңдау кезінде олардың басымдылығының нақты қағидаларын кешенді пайдалану. Өңдеудің әртүрлі контурлары үшін тау-кен геометриялық және экономикалық есептердің икемділігін қамтамасыз ететін қарапайым операциялардың иерархиялық құрылымын құру [6, 7].

Ашық игерудің әрбір кезеңінде карьердің ағымдағы түбінің және деңгейжиектерінің алаңдарының оңтайлы формасын, өлшемін және орналасқан жерін анықтау. Кеннің кешенділігін, сапаның өзгеруін, технологиялық шектеулерді және шығындарды азайтуды ескере отырып, ашық тау-кен жұмыстарының даму бағытын негіздеу. Аршу көлемі мен өндірілетін шикізаттың сапасын ұтымды басқару есебінен карьерлердің терең деңгейжиектері қазып игерудің экономикалық тиімділігін арттыру.

Аршу жұмыстарының көлемі үлкен терең жатқан кешенді кен орындарын игеруді жоспарлау геологиялық жағдайлардың өзгермелілігін және техникалық-экономикалық тиімділігін ескере отырып, карьердің жұмыс аймағының параметрлерін (орналасқан жері, пішіні, ағымдағы түбінің және деңгейжиектерінің мөлшері) оңтайландыруды талап етеді. Оңтайландыру әдістемесін әзірлеу математикалық модельдеу және бағалау критерийі негізінде мансаптық кеңістік қалыптасты, бұл: аршу коэффициенті, кондициялылық коэффициенті және шығын коэффициенті.

Зерттеу мақсаты. Торлы-тораптық математикалық модельді және өзара байланысты бағалау өлшемдері жүйесін пайдалануға негізделген кешенді кен орындарының деңгейжиектерін қазып игерудің әрбір кезеңінде карьердің жұмыс аймағының параметрлерін оңтайландыру әдістемесін әзірлеу.

Тапсырманы шешу нәтижелері.

1. Кен орнының торлы-тораптық математикалық моделін қолдану (IJK үш өлшемді матрицасы ретінде), онда әрбір торап кеңістіктік координаталарды, тау-кен массасының көлемдік-сапалық көрсеткіштерін (типі, сорты, компоненттерінің құрамы) және экономикалық параметрлерді қамтиды.

2. Тау-кен геометриялық және экономикалық міндеттерді шешу үшін қарапайым операциялардың иерархиялық жиынтығын (логикалық түрлендіру, алгебралық әрекеттер) пайдалану: қорларды контурлау, кен/жыныс көлемін есептеу, аршу коэффициентінің орташа және ағымдағы есебі, кондициялылық коэффициентін ($к_{кд}$) және шығын коэффициентін (Z_j) анықтау.

3. Оңтайландыру критерийлері: Аршу коэффициенті ($k_{вс}$): Алынатын тұқымдардың көлемін бақылау. Жұмыс аймағы $k_{вс.факт.} \le k_{вс.доп.}$

Кондициялық коэффициенті ($k_{кд}$), алынатын кешенді кендердің сапасын бақылау. Шығын коэффициенті (Z_j): нұсқаның тиімділігін айқындайтын негізгі экономикалық критерий ($Z_j \to \min$).

4. Оңтайландыру әдістемесі: Модель тораптары арасындағы деректердің сызықтық интерполяциясын пайдалана отырып, деңгейжиек жоспарларында $k_{кд}$ немесе Z_j мәндерінің оқшауламаларын құру. Берілген деңгейдің тұйық оқшаулағыштары (Z_j=const) жұмыс аймағының балама нұсқаларының контурларын анықтайды.

5. Оңтайлы нұсқаны таңдау алгоритмі: әрбір изолиния ішіндегі кеңістік үшін Z_j есептеу жолымен карьерді игерудің басынан бастап шығын коэффициентінің ең төменгі мәніне ($Z_j \to \min$) сәйкес келетін жұмыс орнының контурын іздеу [3, 4].

Қазылуы тау-кен күрделі жұмыстарының үлкен көлемімен терең жатқан пайдалы қазбалардың жоғарғы өндіру деңгейжиектерінің жай-күйін талдау кезінде аршу коэффициентінің нақты мәні ($k_{вс.}$ қосымша) жұмыс аймағының зерттелетін жағдайы үшін оның шекті рұқсат етілген мәнінен артық, жұмыс аймағының түбі кезекті төменгі кемерді ашу және кесу мүмкіндігіне сүйене отырып, ең аз мөлшерде белгіленеді. Нақты өлшеу мәні $k_{вс.}$ қосымша $k_{вс}$-тен аз жұмыс аймағының түбі көлемі бойынша белгіленеді немесе бұл жағдайда негізгі критерий қажетті шығын коэффициенті = $Z_j \le Z_{ПР}$ болады.

Мұндай модельді құру үшін негіз болып әр блогы өндірістің тау-кен массасының көлемдік және сапалық көрсеткіштерінің сандық мәндерін қамтитын карьердің блокты дискретті моделі табылады. Пайдалы ізденушілер мен критерийлердің шамасын айқындау кен көлемдерінің мәндерін, оның пайдалы компоненттерінің құрамын мате-

матикалық өңдеуге, әрбір дискретті блокта және барлық көрсетілген шығындар мен кірістерді қабылданған қаржы-құндық көрсеткіштерді пайдалана отырып аударуға негізделген [1, 7].

Карьер моделі блоктарының кеңістіктік өлшемдері тең болған жағдайда, модельдің әрбір блогының параметрлері, атап айтқанда x, y осьтері бойынша төрт азимуттық бағыттағы жұмыс борттарының көлбеу сызықтары бойынша пайдаланылатын критерийлердің мәндері қарапайым блоктың ортасында кеңістікте орналасқан бір нүктеге түсірілуі мүмкін.

Кешенді кен орнының ашық тау-кен моделінің торлы-тораптық құрылымы өлшемі 1JK үш өлшемді матрицаның кірмесін қарастыруға мүмкіндік береді, мұнда I, J, K осы координаттық осьтер бойынша тораптық нүктелердің саны ox, oy, oz. Матрицалардың көрсетілген элементтері үлгінің тораптық нүктесіне сәйкес келеді және мынадай параметрлермен сипатталады: көлемдік-сапалық көрсеткіштері бар жедел өлшеу үшін – тау-кен массасының түрі, кеннің сорты, компоненттерінің құрамы және кеңістіктік координаттары, қаралып отырған өңдеу контурына қатысты таңдалған тораптық нүктенің жағдайы. Параметрлер тізбесі матрицаның негізгі элементтерінің логикалық түрлендірулері мен алгебралық-геометриялық әрекеттерінің математикалық аппаратын пайдаланып, тау-кен геометриялық және экономикалық есептеулер жүргізуге мүмкіндік береді.

Операциялар жиынтығы оларды орындаудың нақтылығымен олардың қисынды өзара байланысын айқындайтын иерархиялық құрылымға ие (1-сурет).

Әрбір элементарлық операцияның өзінің функционалдық мақсаты бар және шартты түрде екі таңбалы сандық кодпен белгіленеді. Мысалы, көлемдік-сапалық көрсеткіштерді, қарапайым операцияларды пайдаланып, келесідей міндеттерді шешуге мүмкіндік береді:

- минералды шикізатқа арналған кондициялар бойынша кен қорларын жинақтау;
- кенді түрлері мен сорттары, кен денелері, деңгейжиектері мен учаскелері бойынша топтастыру;
- кендердің көлемі мен сапалық сипаттамаларын есептеу, барлық кен орны бойынша және берілген технологиялық контурларда тау-кен массасының көлемін есептеу;
- қазу басталғаннан бергі орташа және ағымдағы аршу коэффициенттерін (тау-кен массасын) есептеу;
- карьердің жұмыс аймағы ережелерінің сериясы үшін минералдық шикізаттың сапасы бойынша сараланған кендер мен жыныстардың көлемін осы көлемдерді кеңістікте бөлуді айқындауға және осының негізінде жұмыс аймағын дамытудың неғұрлым ұтымды нұсқасын таңдауға мүмкіндік беретін баламалы нұсқалар бойынша бағытталған есептеу;

01 (02) – минералды шикізатқа арналған кондицияларға сәйкес кенді бөлу, олардың бүкіл кен орны бойынша көлемін есептеу (блоктар бойынша, өңдеу контурларында);

03 (04) – өңдеу контурларындағы минералдық шикізаттың берілген сорттары бойынша қорларды жиынтық есептеу (блоктар бойынша);

05 – құрамдас бөліктерінің құрамы осы сорт үшін кондицияларды қанағаттандыратын модельдің тораптық нүктелеріне сорт белгісін беру;

06 (08) – блоктар бойынша алынатын кендердің кондициялық коэффициентін анықтау (өңдеу контурларында);

07 (09) – бүкіл кен орны бойынша кендер (өндіру жұмыстары) көлемінің жиынтық есебі (өңдеу контурларында);

10 (11) – барлық кен орны бойынша жыныстар (ашу жұмыстары) көлемін есептеу (өңдеу контурларында);

12 – кендерді өндіру мен байыту және жыныстарды жою шығындарын есептеу (өңдеу контурларында);

13 – өңдеу контурларындағы түпкілікті өнім сомасы бойынша табыстарды есептеу (блоктар бойынша);

14 – өңдеу контурларындағы шығын коэффициентін есептеу (блоктар бойынша);

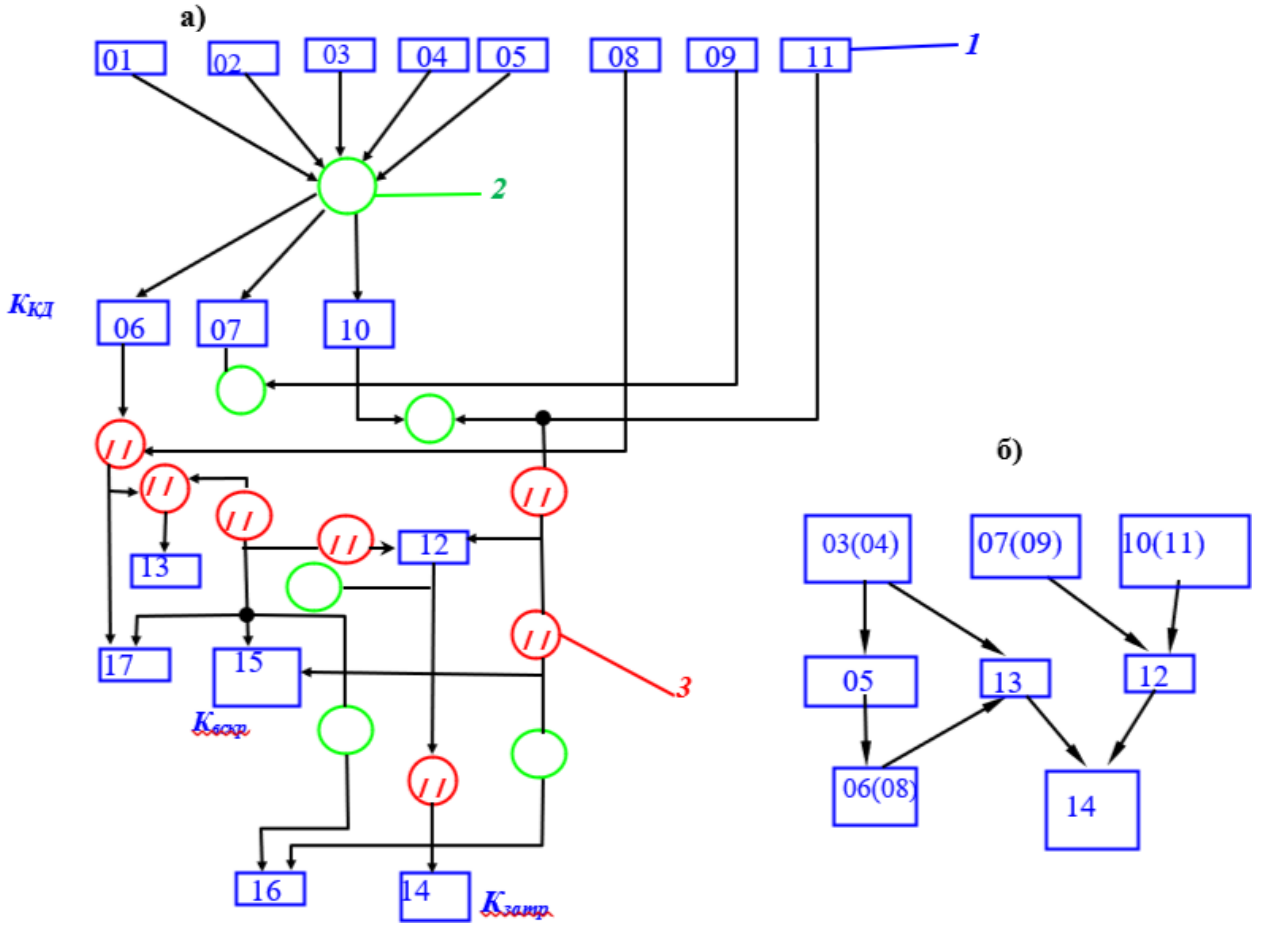
15 – әртүрлі өлшем бірліктерінде, $м^3/м^3$, $м^3/т$, т/т, өңдеу контурларында ашу коэффициентінің мәнін есептеу;

16 – кендердің, жыныстардың және тау-кен массасының көлемін деңгейжиектері бойынша және өспелі қорытындымен есептеу;

17 – берілген компонент бойынша металл шығымын есептеу (т).

- алынған көлемдік-сапалық көрсеткіштер бойынша жай блоктардағы, жұмыс аймағы учаскелеріндегі және тұтастай алғанда оның оңтайлы параметрлерін: дамудың қаралып отырған кезеңіндегі формасын, мөлшерін, орналасқан жерін айқындау үшін кондициялылық коэффициенттерін және шығын коэффициентін бағалауды жүргізу.

Карьер кеңістігін қалыптастыруды оңтайландырудың көрсетілген әдісін іске асыру үшін торлы-тораптық модельді пайдалану әдістемесі кондициялылық коэффициентінің немесе шығынның белгілі бір салмақтық мәнінің оқшаулығына сәйкес келетін тұйық сынық сызықты құрудан тұрады. Изолиниялар өтетін нүктелердің координаттары модельдің көршілес тораптық нүктелеріндегі тау-геологиялық сипаттамалар мәндерінің сызықтық интерполяциясы арқылы анықталады [1, 7, 8].



01 – операция коды; ◯ – логикалық өзара байланыс; // – қисынды өзара байланыс

1-сурет – Тау-кен геометриялық және экономикалық есептеулердегі қарапайым операциялардың құрылымдық сұлбасы: а – жалпы сұлба; б – өңдеу бағаны

Алгоритмнің қысқаша сипаттамасы келесіге келіп тіреледі.

Шығын коэффициентінің торлы-тораптық моделін құрайтын қаралып отырған р-деңгейжиектерің барлық $\{x_i, y_j\}$ нүктелерден төрт азимуталды бағыттың кез келгеніне тиесілі коэффициенттің ең жоғары мәні ($k_{КД}$) бар нүкте таңдалады.

Бұл шама $k_{КД}$ салмақтық мәнін тапсырған кезде бағдар болады. Оқшаулағыштардың тығыздығы 2-суретте ұсынылған жеткілікті өкілді графикті алу есебінен белгіленеді.

Өндірілген кендердің $k_{КД.Н.}$ кондициялылығының талап етілетін деңгейін алайық, ашу коэффициентінің белгілі мәндері кезінде келесі өрнектен табылуы мүмкін:

$$k_{КД.Н.} = k_{ВС}\frac{C_В}{C_Д + C_{ОБ}} + 1 = \\ = \frac{V_В C_В}{\sum_{S=1}^{K} P_С (C_Д + C_{ОБ})} + 1, \text{ бірлік улестері,} \quad (1)$$

Одан әрі табылған нүктемен x, y осьтері бойынша аралас төрт нүкте талданады. Олардың ішінен z_3 мәні қатынасқа сәйкес келетіндер қаралады, мысалы x осі бойынша

$$Z_{pj} \le Z_З \le Z_{pj+1}, \quad (2)$$

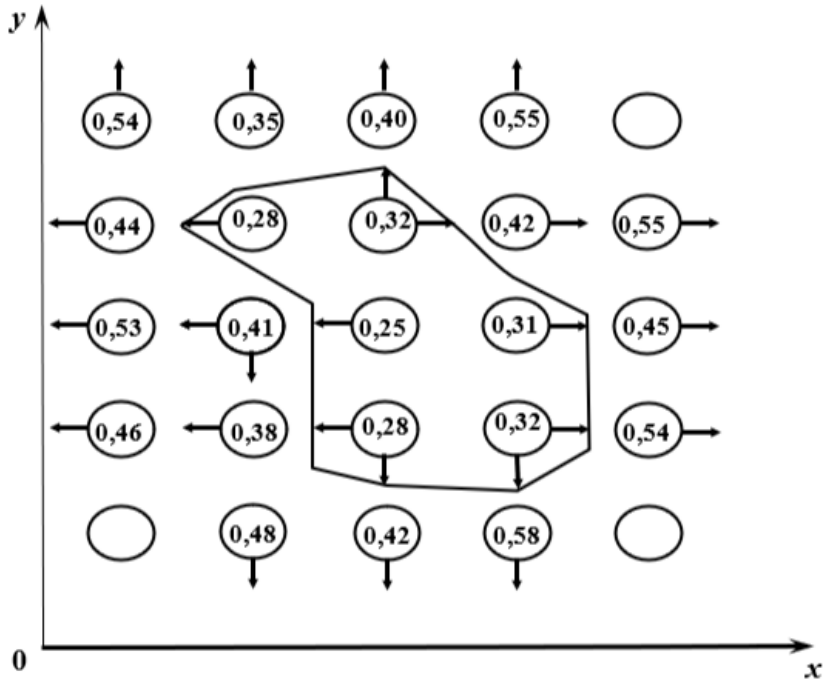
мұнда z_{pj} және z_{pj+1} – модельдің тиісті тораптық нүктелеріндегі шығын коэффициенттерінің мәндері; z_3 – ол үшін оқшаулау сызығын құру жүргізілетін шығын коэффициентінің берілген салмақтық мәні.

Изолинияның қиылысу нүктесінің координаттары осы жағдайда оу осімен сызықтық интерполяцияға сәйкес мына формула бойынша есептеледі:

$$Y_p = Y_i + \frac{(Z_{ЗР} - Z_{Зij})(Z_{Зij+1} - Z_{Зij})}{Y_{j+1} - Y_j}. \quad (3)$$

Осылайша іздестірілетін нүктенің координаталары анықталады.

Бұдан әрі осыған ұқсас түрде тиісті бағыттардағы кондициялық коэффициентінің мәндері (1) жағдайын қанағаттандыратын



2-сурет – $k_z = 0,35$ салмақтық мәні бар оқшаулағыштарды құру сұлбасы

және көрсетілген әдіспен оқшаулау сызығы өтетін нүктелердің жаңа координаттары есептелетін бірінші нүктеге жақын басқа нүктелер талданады. Бұл алгоритм кондициялық коэффициентінің берілген салмақтық мәндері бар барлық оқшаулағыштарды құру үшін пайдаланылады [5-7].

2-суретте шығын коэффициентінің салмақтық мәні 0,35 тең модель учаскесі үшін изолиния құру фрагменті келтірілген.

Осы деңгейжиектерің жоспарында жұмыс аймағының контурын білдіретін алынған оқшауламалардың жиынтығы кен жұмыстарын жүргізудің әртүрлі тиімділігімен жұмыс аймағының орналасқан жерінің, формалары мен өлшемдерінің нұсқаларын айқындайды.

Олардың ішінен ең аз шығын коэффициентінің критерийі бойынша карьерді қазу басталғаннан бастап $Z_j \rightarrow \min$ жағдайын қанағаттандыратын нұсқа неғұрлым артық болып табылады. Оны іздеу жұмыс аймағының қандай да бір қабығының барлық кеңістігі үшін шығын коэффициентін есептеумен сүйемелденеді.

Осылайша, оңтайландырудың ұсынылатын қағидаттары, өлшемдері және оларды пайдалану әдістемесі оңтайлы шешімдерді іздеу процесінде:

- геологиялық және басқа да жағдайлардың өзгеруінің табиғи заңдылығын, минералдық шикізаттың кешенділігін, сондай-ақ минералдық шикізатты өндіру мен қайта өңдеудің технологиялық мүмкіндіктерін зерделеу;
- технологиялық шектеулерді ескере отырып, жұмыс аймағын дамыту процесінде карьердің ағымдағы түбінің орналасқан жерін, формаларын, өлшемдерін және барлық жоғары тұрған деңгейжиектердің алаңдарын таңдауды жүзеге асыру [1, 7].

Қорытынды. Қате жобалық шешімдер қабылдауды болдырмау үшін кешенді кен орындарын әзірлеудің нақты жағдайларында ұтымды жұмыс кеңістігін қалыптастыру заңдылықтарын белгілеу басқа тау-кен техникалық міндеттерді шешудің алдында болуға тиіс. Кен орны мен карьер кеңістігінің көп компонентті математикалық моделінің торлы-тораптық құрылымы қабылданған технологиялық шектеулерді ескере отырып, тау-кен жұмыстарының кез келген берілген аралық жағдайында қажетті көлемдік, сапалық және экономикалық көрсеткіштерді анықтауға мүмкіндік береді. Кешенді тау-кен кендерін игеру жағдайында тау-кен жұмыстарын дамыту бағыттарын есептеп, біртектілерден айырмашылығы кешенді кендердің сапалық құрамын және оларға кіретін компоненттердің алынатын құндылығын ескеру маңызды, алдағы шығындар мен кірістер кондициялылық коэффициенті, аршу коэффициенті және шығын коэффициенті сияқты міндеттердің өлшемдері арасындағы өзара байланысты ескере отырып айқындалады. Карьерді тереңдетудің әрбір кезеңінде ағымдағы түптің кешенді орналасуы мен өлшемдерін анықтау оның жұмыс кеңістігін тиімді қалыптастырудың заңдылықтарын белгілеуге мүмкіндік береді, бір мезгілде алынатын

кешенді кендердің сапасын бақылайтын кондициялылық коэффициенті мен қажеттілігін ескереді; алынатын жыныстардың көлемін игеру басталғаннан бастап ағымдағы және орташа аршу коэффициентін; және қабылданатын шешімдердің тиімділігін айқындайтын шығын коэффициенті.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Шитарев В.Г., Салманов О.Н. (1990). Параметры карьеров при комплексном использовании недр / М.: Недра. (орыс тілінде).
2. Григорьев Ю., Құттыбаева А. (2023). Тау-кен кластерін құру арқылы тұрақты даму тәсілдерін енгізу: «Ингулецкий». IOP Конференцияларының Сериясы: Жер және қоршаған орта туралы ғылым, 1254 (1), 012055. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012055 (ағылшын тілінде).
3. Григорьев Ю., Шамрай В. (2023). Ашық карьерлердің өнімділігінің тау-кен өндірісін дамытудың экономикалық көрсеткіштеріне әсерін зерттеу. IOP Конференциялар сериясы: Жер және қоршаған орта туралы ғылым, 1254 (1), 012050. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012050 (ағылшын тілінде).
4. Рақышев Б.Р. (2013). Карьерлерді жобалау: оқу құралы. Алматы: ҚазҰТУ. 298 с. (орыс тілінде).
5. Дауренбекова А.Н., Кожантов А.У. (2017). Тау-кен технологиясының негіздері: Оқу құралы. Алматы: Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ. 161 б. 10 п.л. (қазақ тілінде).
6. Кожантов А.У. (2025). Открытая разработка комплексных месторождений для взаимосвязанных процессов горного производства (при добыче комплексных полезных ископаемых из недр земли): Монография. Алматы. 104 с. (орыс тілінде).
7. Rakishev B.R., Auezova A.M., Kuttybaev A.E., Kozhantov A.U. Characteristics of rock masses by block sizes // Scientific Bulletin of the National City University, 2014, (6), pp. 22-27.

Сеточно-узловое моделирование при открытой разработке комплексных месторождений

[1]КУТТЫБАЕВ Айдар Ермеккалиевич, *к.т.н., профессор, a.kuttybayev@satbayev.university,*
[1]*КОЖАНТОВ Арыстан Узакбаевич, *к.т.н., старший преподаватель, a.kozhantov@satbayev.university,*
[2]СМИРНОВ Андрей Николаевич, *к.т.н., старший научный сотрудник, sm.contur24@gmail.com,*
[3]ЖИЕНБАЕВ Абзал Бахитович, *PhD, зам. начальника геомеханического отдела, Zhienbaev@list.ru,*
[1]КУАНТАЕВ Нуржан Алибекулы, *докторант, 93022760046-D@satbayev.university,*
[1]НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», ул. Сатпаева, 22а, Алматы, Казахстан,
[2]Институт геотехнической механики имени Н.С. Полякова, ул. Симферопольская, 2а, Днепр, Украина,
[3]ТОО «Корпорация Казахмыс», пл. Сатпаева, 1, Жезказган, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Разработана методика оптимизации параметров рабочей зоны карьера на комплексных месторождениях с использованием сеточно-узловой модели. Метод позволяет минимизировать затраты при больших объемах вскрышных работ на глубоких горизонтах. Определяются оптимальные форма, размеры и местоположение текущего дна и рабочих горизонтов на каждом этапе разработки. Учитываются геологические условия, состав руд, технологические ограничения и экономические факторы через систему критериев ($k_{вс}$, $k_{кд}$, Z_j). Предложен расчет объемно-качественных и экономических показателей для любого положения горных работ. Обоснована необходимость применения комплекса критериев при проектировании, особенно для комплексных, а не однородных место-*

рождений. Разработан алгоритм построения изолиний критериев, формирующий варианты контуров с различной эффективностью.

Ключевые слова: *карьер, рабочая зона, сеточно-узловая модель, комплексное месторождение, коэффициент вскрыши, математическое моделирование.*

Grid-node-based Modeling for Open-pit Mining of Complex Mineral Deposits

[1]KUTTYBAYEV Aidar, *Cand. of Tech. Sc., Professor, a.kuttybayev@satbayev.university,*
[1]*KOZHANTOV Arystan, *Cand. of Tech. Sc., Senior Lecturer, a.kozhantov@satbayev.university,*
[2]SMIRNOV Andrey, *Cand. of Tech. Sc., Senior Researcher, sm.contur24@gmail.com,*
[3]ZHIYENBAYEV Abzal, *PhD, Deputy Head of the Geomechanical Department, Zhienbaev@list.ru,*
[1]KUANTAYEV Nurzhan, *Doctoral Student, 93022760046-D@satbayev.university,*
[1]NPJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev», 22a Satpayev Street, Almaty, Kazakhstan,
[2]N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics, 2a Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine,
[3]Kazakhmys Corporation LLP, Satpayev Square, 1, Zhezkazgan, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *A methodology has been developed for optimizing the parameters of the working area of an open-pit mine at complex mineral deposits using a grid-node model. The method enables cost minimization during large-scale overburden operations at deep mining levels. Optimal shape, dimensions, and location of the current pit bottom and operational horizons are determined at each development stage. Geological conditions, ore composition, technological constraints, and economic factors are taken into account through a system of criteria (k_{vs}, k_{kd}, Z_j). A procedure is proposed for calculating volumetric, qualitative, and economic indicators for any configuration of mining operations. The necessity of applying a comprehensive set of criteria in mine design is substantiated, especially for complex, heterogeneous deposits. An algorithm for constructing criterion isolines has been developed, generating contour variants with varying levels of efficiency.*

Keywords: *open-pit mine, working area, grid-node model, complex deposit, stripping ratio, mathematical modeling.*

REFERENCES

1. Shitarev V.G., Salmanov O.N. (1990). Parametry kar'erov pri kompleksnom ispol'zovanii nedr / Moscow: Nedra. (in Russian).
2. Hryhoriev Y., & Kuttybayeva A. (2023). Implementation of sustainable development approaches by creating the mining cluster: The case of MPP «Inguletskiy». IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1254 (1), 012055. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012055 (in English language).
3. Hryhoriev Y., & Shamrai V. (2023). Study of the impact of the open pit productivity on the economic indicators of mining development. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1254 (1), 012050. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012050 (in English language).
4. Rakishev B.R. 2013. Design of quarries: Textbook. Almaty: KazNTU. 298 p. (in Russian).
5. Daurenbekova A.N., Kozhantov A.U. (2017). Fundamentals of Mining Technology: Textbook. Almaty: Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev. 161 p. (10 printed sheets). (In Kazakh).
6. Kozhantov A.U. (2025) Open-Pit Mining of Complex Deposits for Integrated Mining Processes (in the Extraction of Complex Mineral Resources from the Earth's Subsurface): Monograph. Almaty. 104 p. (In Russian).
7. Rakishev B.R., Auezova A.M., Kuttybaev A.E., Kozhantov A.U. Characteristics of rock masses by block sizes // Scientific Bulletin of the National City University, 2014, (6), pp. 22-27.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_109 ӘОЖ 550.3

Көмірлер мен күлдердегі радиоактивті және сирек жер элементтерінің таралуының геохимиялық ерекшеліктері және олардың минералдық құрамдаспен байланысы

[1]*ПАК Дмитрий Юрьевич, *т.ғ.к., профессор, d.pak@ktu.edu.kz2,*
[2]ТОШОВ Жавохир Буриевич, *т.ғ.д., профессор, javokhir.toshov@yandex.ru,*
[1]ПАК Юрий Николаевич, *т.ғ.д., профессор, yu.pak@ktu.edu.kz,*
[1]ИБРАГИМОВА Диана Андреевна, *PhD, ғылыми қызметкер, podgornaya1992@mail.ru,*
[1]ТЕБАЕВА Анар Юлаевна, *магистр, аға оқытушы, tebaeva@ktu.edu.kz,*
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Университетская көшесі, 2, Ташкент, Өзбекстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Көмір мен күл құрамындағы табиғи радиоактивті және сирек жер элементтерінің таралуының геохимиялық ерекшеліктері және олардың көмірдің минералдық құрамымен өзара байланысы қарастырылған. Зерттеудің өзектілігі көмір затында және оны жағу өнімдерінде радиоактивті және сирек жер компоненттерінің мөлшерін бақылайтын факторларды кешенді түрде түсінудің, сондай-ақ олардың отынның технологиялық және экологиялық сипаттамаларына әсерін бағалаудың қажеттілігімен айқындалады. Табиғи радионуклидтер мен сирек жер элементтерінің негізінен көмірдің минералдық бөлігінде шоғырланатыны және күлде жинақталуымен сипатталатыны көрсетілді. Жеңіл сирек жер элементтерінің жиынтық мөлшері мен торий арасындағы, сондай-ақ табиғи радиоактивтік параметрлері мен күлділік арасындағы статистикалық мәнді байланыстар анықталды, бұл ортақ минералогиялық тасымалдаушылардың және жинақталудың ұқсас геохимиялық механизмдерінің бар екенін көрсетеді. Алынған нәтижелер күлділіктің көмірдің минералдық құрамын сипаттайтын, радиоактивті және сирек жер элементтерінің таралуын бейнелейтін интегралдық көрсеткіш ретінде қарастырылуы мүмкін екенін растайды.*

Кілт сөздер: *көмір, күл, радиоактивті элементтер, сирек жер элементтері, геохимия, минералдық құрам, күлділік.*

Кіріспе

Көмірлер органикалық және минералдық құрамдас бөліктерден тұратын күрделі табиғи жүйелер болып табылады, олардың арақатынасы физика-химиялық, технологиялық және экологиялық қасиеттерін айқындайды [1, 2]. Көмірдің минералдық бөлігі күлділіктің қалыптасуын, күл мен күл-қож қалдықтарының құрамын, сондай-ақ микроэлементтердің, соның ішінде табиғи радиоактивті және сирек жер элементтерінің таралуын бақылайды [3, 4]. Осыған байланысты көрсетілген компоненттердің көмірлерде және оларды жағу өнімдерінде таралуының геохимиялық ерекшеліктерін зерттеу іргелі зерттеулер үшін де, көмір энергетикасының практикалық міндеттері үшін де өзекті болып қала береді.

Көмірлердің табиғи радиоактивтілігі уран және торий қатарларының радионуклидтерінің, сондай-ақ калийдің K-40 изотобының болуымен анықталады, олар, әдетте, көмірдің минералдық бөлігімен – сазды минералдармен, алюмосиликаттармен және акцессорлық фазалармен байланысқан [5, 6]. Бірқатар зерттеулер көмірлер мен күлдердің табиғи радиоактивтілік деңгейлері кең ауқымда өзгеретінін және көбінесе бастапқы отынның күлділігі мен минералогиялық құрамымен айқындалатынын көрсетеді. Көмірді жағу барысында табиғи радионуклидтердің қайта бөлінуі және күлде шоғырлануы

жүреді, бұл олардың геохимиялық және экологиялық маңызын арттырады [5-7].

Радиоактивті элементтермен қатар көмірдің минералдық құрамын сипаттауда сирек жер элементтері маңызды рөл атқарады. Көмірлер мен күлдер сирек жер компоненттерінің әлеуетті тасымалдаушылары ретінде қарастырылады, олардың концентрациясы мен таралуы бастапқы литологияға, шөгінді жиналу жағдайларына және постседиментациялық процестерге тәуелді. Сирек жер элементтерінің негізінен көмірдің минералдық фазасында шоғырланатыны және бастапқы көмір затымен салыстырғанда күлде айтарлықтай байытылатыны көрсетілген [4, 8]. Бірқатар көмір бассейндері үшін жеңіл сирек жер элементтерінің жиынтық мөлшері мен уран-торий тобы элементтері арасындағы корреляциялық байланыстар анықталған, бұл ортақ минералогиялық тасымалдаушыларды және жинақталудың ұқсас геохимиялық механизмдерін көрсетеді [9, 10].

Осы тұрғыда көмірдің күлділігі минералдық құрамдас бөліктің интегралдық сипаттамасы ретінде қарастырылуы мүмкін, ол отынның химиялық құрамын қалыптастырудағы бейорганикалық компоненттердің үлесін бейнелейді [1, 3]. Күлділік дәстүрлі түрде көмір сапасының технологиялық көрсеткіші ретінде қолданылғанымен, оның маңызы тек энергетикалық сипаттамалармен шектелмей, микроэлементтердің, соның ішінде радиоактивті және сирек жер элементтерінің таралуымен тығыз байланысты [3, 6]. Күлділік, табиғи радиоактивтілік параметрлері және сирек жер элементтерінің мөлшері арасындағы өзара байланыстарды талдау көмірдің минералдық бөлігінің геохимиялық табиғатын және оны жағу кезінде трансформациялану процестерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді.

Соңғы жылдары көмірлердің табиғи радиоактивтілік параметрлері қолданбалы аспектте де – минералдық құрамдас бөліктің және тиісінше отын күлділігінің жедел сапалық бақылауындағы ықтимал индикаторлар ретінде қарастырылуда [9-11]. Алайда бұл тәсілді дұрыс қолдану көмірлер мен күлдердегі радиоактивті және сирек жер элементтерінің таралуы жөніндегі зертханалық деректерге негізделген алдын ала геохимиялық негіздеуді талап етеді.

Осыған байланысты, аталған жұмыстың мақсаты көмірлер мен күлдердегі табиғи радиоактивті және сирек жер элементтерінің таралуының геохимиялық ерекшеліктерін зерттеу, олардың минералдық құрамдас бөлікпен және көмір күлділігімен өзара байланыстарын анықтау, сондай-ақ табиғи радиоактивтілік параметрлерін көмірдің минералдық бөлігінің жанама индикаторлары ретінде пайдалану мүмкіндігін талқылау болып табылады.

Әдістеме

Зерттеу аясында Қарағанды ГРЭС-інен іріктеліп алынған көмірлер мен күл-қож қалдықтары (КҚҚ), сондай-ақ Екібастұз көмір бассейнінің көмірлері зерттеліп, апробациядан өткізілді. Алынған үлгілер көмірдің күлділігін анықтауға, табиғи радиоактивті нуклидтердің (ТРН) (U, Th, K-40) және сирек жер элементтерінің (СЖЭ) (La, Ce, Sm, Eu, Nd және т.б.) көмірлер мен КҚҚ құрамындағы концентрациясын анықтауға арналған бастапқы материал ретінде пайдаланылды.

ТРН құрамын анықтау үшін гамма-спектрометриялық талдау, ал СЖЭ құрамын анықтау үшін нейтрондық-активациялық талдау (НАТ) қолданылды. Гамма-спектрометриялық талдау Genie-2000 бағдарламалық қамтамасыз етуімен жабдықталған «CANBERRA» спектрометрінде жүргізілді. Өлшеу ұзақтығы (12-15 сағат) өлшеулердің статистикалық қателігін барынша төмендету мақсатында таңдалды.

Радионуклидтердің меншікті активтілігін есептеу үшін келесі гамма-сызықтар пайдаланылды: U-238 – оның ыдырау өнімдері Th-234 (63 кэВ), Pb-214 (242, 295, 352 кэВ), Bi-214 (609 кэВ), Ra-226 (186,2 кэВ); U-235 (185,7 кэВ), Th-227 (236 кэВ); Th-232 – Tl-208 (583 кэВ), Pb-212 (238 кэВ), Ac-228 (911,2 кэВ); K-40 (1460,8 кэВ).

НАТ өлшеулері Canberra көпарналы импульстік анализаторында GX3518 жартылай өткізгіш Ge-детекторы арқылы жүргізілді. Сәйкес радионуклидтердің гамма-сызықтарының интенсивтілігін стандартты үлгілер немесе бақылау сынамаларының интенсивтілігімен салыстыру арқылы анықталатын элементтердің мөлшері есептелді. Сәулелендіру арнасындағы жылулық нейтрондар ағынының тығыздығы 2×10^{13} нейтрон/(см^2·с) құрады. Үлгілерді сәулелендіру ұзақтығы 10-20 сағат аралығында болды.

Көмірдің күлділігі (A^d) зертханалық көмірхимиялық әдіспен, муфельді пеште бақыланатын температуралық режимдерде стандартты озолandыру процедурасын қолдану арқылы анықталды. Екібастұз көмірлерінің күлділігі 30,7-38,8% аралығында өзгерді.

Нәтижелерді статистикалық өңдеу сипаттамалық статистикаларды (орташа мәндер, стандартты ауытқу, вариация коэффициенті) есептеуді, күлділік, табиғи радионуклидтердің меншікті активтілігі және сирек жер элементтерінің мөлшері арасындағы корреляциялық талдауды, сондай-ақ анықталған байланыстардың статистикалық мәнділігін бағалауды қамтыды.

Зерттеу барысында қолданылған Zolar күлөлшегіші (1-сурет) бұған дейін «Саранс-

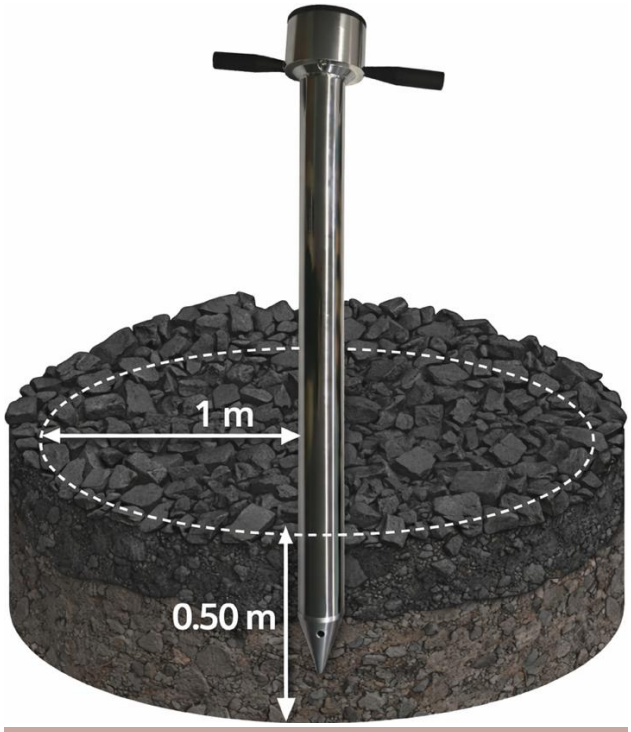
кая» шахтасында өндірістік жағдайларда апробациядан өтіп, нәтижелердің тұрақты қайталанғыштығын және көмір күлділігін зертханалық анықтау деректерімен сәйкестігін көрсетті. Zolar аспабында құрылғы зондында орналастырылған сцинтилляциялық гамма-детектор қолданылады. Сцинтилляциялық кристалл табиғи гамма-сәулеленудің кванттарын көрінетін жарық кванттарына түрлендіреді, олар кейін фотоэлектрондық көбейткішпен (ФЭК) тіркеледі. Сәулеленудің энергиясы мен интенсивтілігіне пропорционал электрлік импульстер аспаптың электрондық блогына түсіп, онда спектрлік өңдеу және импульстерді санау жүзеге асырылады.

Аспаптың жұмыс істеу принципі көмірдің минералдық бөлігінде болатын табиғи радионуклидтер – ең алдымен K-40, сондай-ақ уран-торий қатарының изотоптары (U-238, Ra-226 және Th-232) тудыратын табиғи гамма-сәулеленуді тіркеуге негізделген. Абсолюттік қателік 2,6-3,0% құрайды, бұл табиғи жағдайда көмір күлділігін бағалауға мүмкіндік береді (2-сурет).

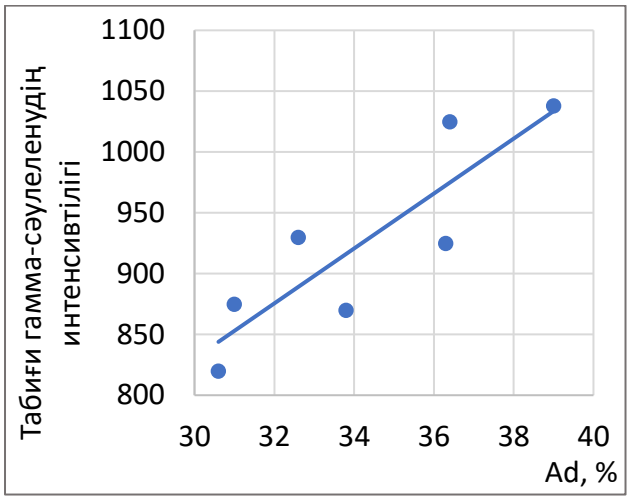
Зерттеу шеңберінде табиғи радиоактивтілік параметрлерін көмірдің минералдық құрамдас бөлігінің және күлділігінің жанама индикаторлары ретінде пайдалану мүмкіндігі қарастырылды. Қолданбалы талдау күлділік, табиғи радионуклидтердің меншікті активтілігі және сирек жер элементтерінің таралуы бойынша зертханалық деректерді салыстыруға негізделді. Көмір сапасын жедел бақылаудың перспективалық құралы ретінде көмір массивінің табиғи гамма-сәулеленуін тіркейтін күлөлшегіштерді қолдану мүмкіндігі талқыланды. Бұл ретте аспаптардың метрологиялық сипаттамалары, оның ішінде бақылау тереңдігі 0,35-0,50 м және өлшеу аймағының диаметрі шамамен 1 м екендігі ескерілді, бұл бір өлшеу кезінде жүздеген килограмм көмір массасы бойынша параметрлерді орташа мәнде бағалауды қамтамасыз етеді. Аталған тәсілді іске асыру зертханалық жолмен анықталған күлділігі бар үлгілер бойынша алдын ала жергілікті калибрлеуді және көмір массивінің физикалық қасиеттерін есепке алуды талап етеді.

Нәтижелер

Көмір-химиялық талдау нәтижелері бойынша зерттелген көмірлер минералдық құрамдас бөліктің біртекті еместігін көрсететін әртүрлі күлділікпен сипатталатыны анықталды (1-кесте). Күлділік мәндері кең ауқымда өзгеріп, көмір заты құрамындағы бейорганикалық фазаның үлесі әртүрлі екенін көрсетеді. Алынған деректер күлділіктің минералдық бөліктің мөлшерін сипаттайтын интегралдық көрсеткіш ретінде қарастырылуы мүмкін екенін және көмірлер мен күлдердегі микроэлементтердің таралуының



1-сурет – Zolar құрылғысы арқылы өндірістік жағдайларда көмір күлділігін анықтау



2-сурет – Табиғи гамма-сәулеленудің интегралдық интенсивтілігінің күлділікке тәуелділігі

геохимиялық ерекшеліктерін айқындайтынын растайды.

Зерттелген көмірлердің күлділігі 33,7-37,4% аралығында өзгеріп (орташа мәні 35,74 ± 1,59%, CV = 4,45%), минералдық құрамдас бөліктің үлесі бойынша іріктеменің салыстырмалы түрде біртектілігін көрсете-

1-кесте – Нейтрондық-активациялық талдау деректері бойынша көмірлер мен күл-қож қалдықтарындағы радиоактивті және сирек жер элементтерінің мөлшерлік ауқымдары

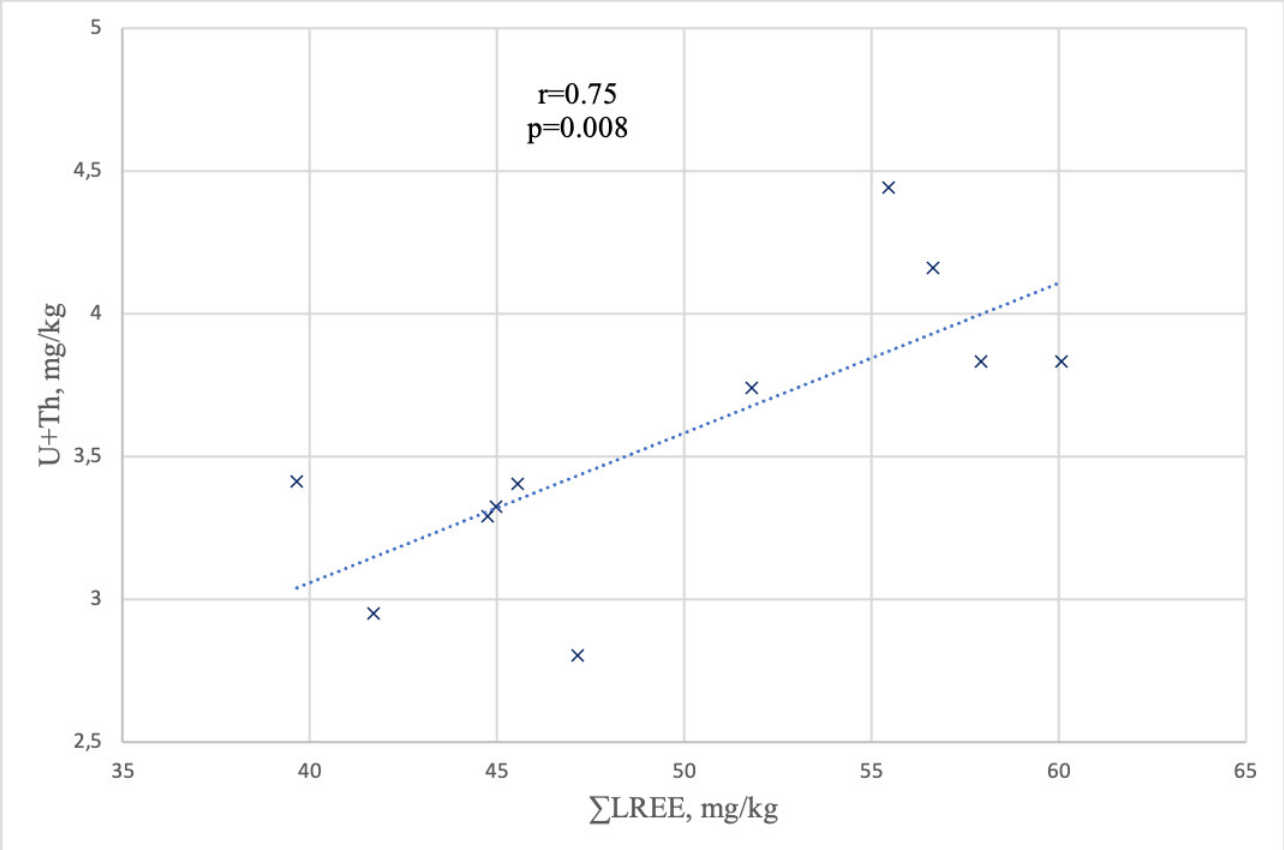
Элемент		НАТ	
		көмір	күл-қож қалдықтары
U	г/т	0,5-1,5	1,1-3,6
Th	г/т	2,1-3,1	6,3-7,1
Sm	г/т	2,5-3,4	2,9-9,0
Ce	г/т	20,5-28,9	52,0-57,9
Lu	г/т	0,2-0,3	0,7-0,9
Yb	г/т	1,5-2,2	4,7-5,6
Nd	г/т	2,9-15,8	13,8-46,9
Tb	г/т	0,3-0,6	0,7-1,7
Eu	г/т	0,5-0,8	1,7-2,1
La	г/т	9,0-13,1	25,7-28,5
Ad	%	30,7-38,8	

ді. Сонымен қатар жекелеген элементтердің мөлшері әртүрлі вариабельдік деңгейімен сипатталады: U үшін (CV ≈ 29%) және K үшін (CV ≈ 45%) шашырау Th (CV ≈ 8,5%) және ∑LREE (CV ≈ 14%) көрсеткіштерімен салыстырғанда едәуір жоғары.

Күл-қож қалдықтарында көмірмен салыстырғанда U, Th және сирек жер элементтерінің концентрацияларының артуы байқалады: U үшін орташа мән 2,62 мг/кг, ал көмірде 0,99 мг/кг; Th үшін тиісінше 6,55 мг/кг және 2,50 мг/кг. Бұл отынды жағу кезінде минералдық фазаның шоғырлану үдерісін көрсетеді.

Корреляциялық талдау La мен Th арасындағы ($r = 0,73$; $p < 0,05$), сондай-ақ Ce мен U арасындағы ($r = 0,74$; $p < 0,05$) статистикалық мәнді оң байланыстарды анықтады, ал ∑LREE пен U+Th арасындағы корреляция коэффициенті 0,75-ке тең (3-сурет). Бұл радиоактивті және жеңіл сирек жер элементтерінің таралуының минералогиялық шарттылығын дәлелдейді.

Гамма-спектрометриялық талдау нәтижелері (2-кесте) көмірлердегі Ra-226, Th-232 және K-40 табиғи радионуклидтерінің меншікті активтілігі айтарлықтай вариабельді-



3-сурет – Көмірдегі уран мен торийдің жиынтық концентрациясының жеңіл сирек жер элементтерінің (LREE) жиынтық концентрациясына тәуелділігі

2-кесте – Көмір мен күл-қож қалдықтарының табиғи радиоактивтілік көрсеткіштері

ТРЭ	Көмір	ККҚ
	Концентрациясы	Концентрациясы
	Орташа концентрациясы, (Бк/кг)	Орташа концентрациясы, (Бк/кг)
Th^{232}	12,1-19,5 14,5	44,0-60,0 50,0
Ra^{226}	12,1-27,9 16,7	31,0-38,0 34,0
K40	27,0-81,0 54,8	40,0-100,0 60,5
Ad	32,8-38,8 36,0	

лікпен сипатталатынын көрсетті. Активтіліктің ең жоғары мәндері, әдетте, K-40 изотобы үшін тіркелді, бұл оның сазды және алюмосиликатты минералдарда басым түрде шоғырлануымен байланысты.

Көмір күлінде бастапқы көмірмен салыстырғанда табиғи радионуклидтердің меншікті активтілігінің артуы байқалады, бұл жағу процесі кезінде органикалық бөліктің жойылуы және минералдық фазаның шоғырлануымен түсіндіріледі. Радионуклидтердің шоғырлану дәрежесі әртүрлі болып келеді және ол көмірдің бастапқы күлділігіне, сондай-ақ күлдің минералогиялық құрамына тәуелді.

Көмірлердің күлділігі 30,7-38,8% аралығында өзгеріп, зерттелген үлгілердің минералдану дәрежесінің өзара жақын екенін көрсетеді. Бұл ретте күлділік пен Th-232, Ra-226 және K-40-тың меншікті активтілігі арасында айқын тәуелділік байқалмайды (2-сурет). Бұл күлділіктің минералдық құрамдас бөліктің мөлшерін сипаттайтын интегралдық көрсеткіш екенін, алайда радиоактивті элементтердің таралуы тек оның үлесіне ғана емес, сонымен қатар минералогиялық құрамына (алюмосиликатты, сазды және калийқұрамды фазалардың типіне) тәуелді екенін көрсетеді [12]. K-40-тың меншікті активтілігі көмірлерде де, күлдерде де ең үлкен шашыраумен сипатталады. Бұл калийқұрамды минералдардың (далалық шпаттар, слюдалар, сазды минералдар) біртекті емес таралуымен байланысты, олардың күлділік пен радиоактивтіліктің қалыптасуына қосатын үлесі Ad мәндері ұқсас болғанның өзінде едәуір өзгеруі мүмкін.

Алынған нәтижелер күлділіктің көмірдің минералдық құрамдас бөлігінің жалпы мөлшерін бейнелейтінін, ал табиғи радионуклидтердің концентрациялары негізінен осы минералдық фазаның минералогиялық құрамымен, яғни оның сапалық сипаттамаларымен анықталатынын көрсетеді. Атап айтқанда, Th-232 мен Ra-226 көбіне алюмосиликатты, акцессорлық және ауыр минералдармен байланысты, ал K-40 калийқұрамды фазалардың (далалық шпаттар, слюдалар, сазды минералдар) мөлшерімен бақыланады. Сонымен бірге анықталған заңдылықтар табиғи радиоактивтілік көрсеткіштерін көмірдің минералдық құрамдас бөлігінің жанама индикаторлары ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Th-232, Ra-226 және K-40 активтіліктерін, сондай-ақ олардың арақатынастарын бірлесіп талдау көмір отынының күлділігінің өзгерісін және минералдық құрамының біртекті еместігін жедел бағалау үшін, әсіресе өндірістік жедел бақылау жағдайларында, қолданылуы мүмкін.

Күлділіктің артуы табиғи радионуклидтер мен сирек жер элементтерінің әлеуетті тасымалдаушылары болып табылатын минералдық компоненттердің үлесінің өсуімен қатар жүретіні атап өтілді. Аталған заңдылық күлділік, табиғи радиоактивтілік параметрлері және көмірлердің элементтік құрамы арасындағы өзара байланыстарды одан әрі талдауға негіз болды.

Қорытынды

1. Зерттелген көмірлерде табиғи радиоактивті және сирек жер элементтерінің көмір затының минералдық құрамдас бөлігімен басым түрде байланысқаны анықталды. Олардың таралуы минералдық фазаның мөлшерімен қатар, оның минералогиялық құрамымен де бақыланады.

2. Бастапқы көмірлермен салыстырғанда күл-қож қалдықтарында табиғи радионуклидтер мен сирек жер элементтерінің заңды түрде шоғырлануы байқалады. Күлдегі уран мен торийдің орташа мөлшері көмірдегі сәй-

кес мәндерден 2-3 есе жоғары, бұл отынды жағу кезінде органикалық массаның жойылуы және минералдық фазаның жинақталуымен түсіндіріледі.

3. Корреляциялық талдау жеңіл сирек жер элементтерінің жиынтық мөлшері мен уран-торий тобы элементтері арасында статистикалық мәнді оң байланыстардың бар екенін көрсетті.

4. Табиғи гамма-сәулеленудің интегралдық интенсивтілігі табиғи радиоактивті элементтердің мөлшеріне, олардың минералдық ортадағы болу формаларына және компоненттік құрамына күрделі түрде тәуелді. Күлділікті неғұрлым дәл бағалау үшін табиғи гамма-сәулелену спектрометриясын ең қарқынды гамма-сызықтарды ескере отырып қолдану ұсынылады.

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылды (AP26199353 гранты).

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Arbuzov S.I., Chekryzhov I.Yu., Spears D.A., Ilenok S.S., Soktoev B.R., Popov N.Yu. (2021) Geology, geochemistry, mineralogy and genesis of the Spetsugli high-germanium coal deposit in the Pavlovsk coal-field, Russian Far East // Ore Geology Reviews. – V. 139. – Pp. 1-18. DOI: org/10.1016/j.oregeorev.2021.104537.
2. Taylor, S.R. and McLennan, S.H. 1985. The Continental Crust: its Composition and Evolution. Blackwell, Oxford, 312 p.
3. Bhangare R.C., Ajmal P.Y., Sahu S.K., Puranik V.D. Distribution of trace elements in coal and combustion residues from five thermal power plants in India // International Journal of Coal Geology, 2011. – V. 86. – Pp. 349-356. doi:10.1016/j.coal.2011.03.008
4. Dai, S., Finkelman, R.B. (2018) Coal as a promising source of critical elements: Progress and future prospects // International Journal of Coal Geology. – V. 186 (1). – Pp. 155-164. https://doi.org/10.1016/j.coal.2017.06.005.
5. Zhao, Y.; Li, H.; Yang, J.; Zhang, J.; Zheng, C. Emission and Control of Trace Elements from Coal-Derived Gas Streams, 1st ed.; Woodhead Publishing: Sawston, UK, 2019; ISBN 9780081026526.
6. Ionizing Radiation: Sources and Effects. UNSCEAR 1982 Report to the General Assembly, with annexes. New York, 1982. 773 p.
7. Pak Yu.N., Pak D.Yu., Ibragimova D.A., Matonin V., Tebayeva A.Yu. (2025) Assessment of Natural Radioactivity and Trace Element Composition of Coals and Ash and Slag Waste in Kazakhstan // Atmosphere. 16 (2), 125. https://doi.org/10.3390/atmos16020125
8. Seredin V.V., Finkelman R.B. Metalliferous coals: a review of the main genetic and geochemical types // International Journal of Coal Geology. – 2008. – V. 76. – Pp. 253-289.
9. Smolka-Danielowska D., Walencik-Lata A. (2021) The Occurrence of Selected Radionuclides and Rare Earth Elements in Waste at the Mine Heap from the Polish Mining Group // Minerals, 11, 504. doi.org/10.3390/min11050504
10. Ren W., Cao Q., Yang L., Huang S. (2022) Uranium in Chinese coals: Concentration, spatial distribution, and modes of occurrence // Journal of Environmental Radioactivity. – V. 246, 106848. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106848
11. Mohamed H., Pauzi A.M., Ahmad N., Karim N.A., Wazir M., Zaiul Bahri C., Idris M.I. Natural radioactivity analysis and radiological impact assessment from a coal power plant // International Journal of Radiation Research. – 2023. – V. 21. – № 4. – Pp. 797-804. doi 10.61186/ijrr.21.4.797
12. Пак Ю.Н., Пак Д.Ю., Акопян Н.С., Мынбаев М.Б., Ахметов М.С., Бугубаев Д.С. (2020). Способ контроля зольности угля. Патент РК № 34289. https://gosreestr.kazpatent.kz/Invention/Details?docNumber=309996

Геохимические особенности распределения радиоактивных и редкоземельных элементов в углях и золах и их связь с минеральной составляющей

[1]***ПАК Дмитрий Юрьевич,** к.т.н., профессор, d.pak@ktu.edu.kz,*
[2]***ТОШОВ Жавохир Буриевич,** д.т.н., профессор, javokhir.toshov@yandex.ru,*
[1]***ПАК Юрий Николаевич,** д.т.н., профессор, yu.pak@ktu.edu.kz,*
[1]***ИБРАГИМОВА Диана Андреевна,** PhD, научный сотрудник, podgornaya1992@mail.ru,*
[1]***ТЕБАЕВА Анар Юлаевна,** магистр, старший преподаватель, tebaeva@ktu.edu.kz,*
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, ул. Университетская, 2, Ташкент, Узбекистан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Рассмотрены геохимические особенности распределения природных радиоактивных и редкоземельных элементов в углях и золах и их связь с минеральной составляющей угля. Актуальность исследования обусловлена необходимостью комплексного понимания факторов, контролирующих содержание радиоактивных и редкоземельных компонентов в угольном веществе и продуктах его сжигания, а также их влияния на технологические и экологические характеристики топлива. Показано, что природные радионуклиды и редкоземельные элементы преимущественно ассоциированы с минеральной частью угля и характеризуются концентрированием в золе. Установлены статистически значимые связи между суммарным содержанием лёгких редкоземельных элементов и торием, а также между параметрами естественной радиоактивности и зольностью, что указывает на общие минералогические носители и сходные геохимические механизмы накопления. Полученные результаты подтверждают, что зольность может рассматриваться как интегральная характеристика минеральной составляющей угля, отражающая распределение радиоактивных и редкоземельных элементов.*

***Ключевые слова:** уголь, зола, радиоактивные элементы, редкоземельные элементы, геохимия, минеральная составляющая, зольность.*

Geochemical Features of the Distribution of Radioactive and Rare Earth Elements in Coals and Ashes and their Relationship with the Mineral Matter

[1]***PAK Dmitry,** Cand. of Tech. Sc., Professor, d.pak@ktu.edu.kz,*
[2]***TOSHOV Javokhir,** Dr. of Tech. Sc., Professor, javokhir.toshov@yandex.ru,*
[1]***PAK Yuriy,** Dr. of Tech. Sc., Professor, yu.pak@ktu.edu.kz,*
[1]***IBRAGIMOVA Diana,** PhD, Researcher, podgornaya1992@mail.ru,*
[1]***TEBAEVA Anar,** Master's Degree, Senior Lecturer, tebaeva@ktu.edu.kz,*
[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, University Street, 2, Tashkent, Uzbekistan,
**corresponding author.*

***Abstract.** This study examines the geochemical features of the distribution of natural radioactive and rare earth elements in coals and ashes and their relationship with the mineral matter of coal. The relevance of the research is determined by the need for a comprehensive understanding of the factors controlling the concentrations of radioactive and rare earth components in coal substance and its combustion products, as well as their influence on the technological and environmental characteristics of the fuel. It is shown that natural radionuclides and rare earth elements are predominantly associated with the mineral fraction of coal and are characterized by enrichment in ash. Statistically significant correlations have been established between the total content of light rare earth elements and thorium, as well as between natural radioactivity parameters and ash yield, indicating common mineralogical hosts and similar geochemical accumulation mechanisms. The obtained results confirm that ash yield can be considered an integral characteristic of the mineral matter of coal, reflecting the distribution of radioactive and rare earth elements.*

Keywords: *coal, ash, radioactive elements, rare earth elements, geochemistry, mineral matter, ash yield.*

REFERENCES

1. Arbuzov S.I., Chekryzhov I.Yu., Spears D.A., Ilenok S.S., Soktoev B.R., Popov N.Yu. (2021) Geology, geochemistry, mineralogy and genesis of the Spetsugli high-germanium coal deposit in the Pavlovsk coal-field, Russian Far East // Ore Geology Reviews. – V. 139. – Pp. 1-18. DOI: org/10.1016/j.oregeorev.2021.104537.
2. Taylor, S.R. and McLennan, S.H. 1985. The Continental Crust: its Composition and Evolution. Blackwell, Oxford, 312 p.
3. Bhangare R.C., Ajmal P.Y., Sahu S.K., Puranik V.D. Distribution of trace elements in coal and combustion residues from five thermal power plants in India // International Journal of Coal Geology, 2011. – V. 86. – Pp. 349-356. doi:10.1016/j.coal.2011.03.008
4. Dai, S., Finkelman, R.B. (2018) Coal as a promising source of critical elements: Progress and future prospects // International Journal of Coal Geology. – V. 186 (1). – Pp. 155-164. https://doi.org/10.1016/j.coal.2017.06.005.
5. Zhao, Y.; Li, H.; Yang, J.; Zhang, J.; Zheng, C. Emission and Control of Trace Elements from Coal-Derived Gas Streams, 1st ed.; Woodhead Publishing: Sawston, UK, 2019; ISBN 9780081026526.
6. Ionizing Radiation: Sources and Effects. UNSCEAR 1982 Report to the General Assembly, with annexes. New York, 1982. 773 p.
7. Pak Yu.N., Pak D.Yu., Ibragimova D.A., Matonin V., Tebayeva A.Yu. (2025) Assessment of Natural Radioactivity and Trace Element Composition of Coals and Ash and Slag Waste in Kazakhstan // Atmosphere. 16 (2), 125. https://doi.org/10.3390/atmos16020125
8. Seredin V.V., Finkelman R.B. Metalliferous coals: a review of the main genetic and geochemical types // International Journal of Coal Geology. – 2008. – V. 76. – Pp. 253-289.
9. Smolka-Danielowska D., Walencik-Lata A. (2021) The Occurrence of Selected Radionuclides and Rare Earth Elements in Waste at the Mine Heap from the Polish Mining Group // Minerals, 11, 504. doi.org/10.3390/min11050504
10. Ren W., Cao Q., Yang L., Huang S. (2022) Uranium in Chinese coals: Concentration, spatial distribution, and modes of occurrence // Journal of Environmental Radioactivity. – V. 246, 106848. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106848
11. Mohamed H., Pauzi A.M., Ahmad N., Karim N.A., Wazir M., Zaiul Bahri C., Idris M.I. Natural radioactivity analysis and radiological impact assessment from a coal power plant // International Journal of Radiation Research. – 2023. – V. 21. – № 4. – Pp. 797-804. doi 10.61186/ijrr.21.4.797
12. Пак Ю.Н., Пак Д.Ю., Акопян Н.С., Мынбаев М.Б., Ахметов М.С., Бугубаев Д.С. (2020). Способ контроля зольности угля. Патент РК № 34289. https://gosreestr.kazpatent.kz/Invention/Details?docNumber=309996

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_117 ӘОЖ 550.83, +553.434

Жезқазған кенді ауданындағы кешенді геофизикалық зерттеулердің геологиялық-геофизикалық негіздемесі

ИСАЕВА Людмила Жандүйсенқызы, *г.-м.ғ.д., профессор, l.issayeva@satbayev.university,*
ИСТЕКОВА Сара Аманжоловна, *г.-м.ғ.д., профессор, s.istekova@satbayev.university,*
****ТОЛЫБАЕВА Дина Нурпейсовна,*** *докторант, аға оқытушы, d.tolybayeva@satbayev.university,*
АБЛЕСЕНОВА Зухра Нигметжановна, *докторант, аға оқытушы, z.ablessenova@satbayev.university,*
ТОҒЫЗОВ Қуаныш Серікханұлы, *PhD, профессор, k.togizov@satbayev.university,*
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 22а, Алматы, Қазақстан,

**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Күрделі геологиялық құрылысы және ірі мыс кенді шоғырлары бар Жезқазған кенді ауданының тау жыныстары мен кендерінің физикалық қасиеттері қарастырылған. Қимада және аудан аумағында байқалатын өзгерістерді сипаттайтын магниттік, тығыздық, жылдамдық және электрлік сипаттамалардың өзгерістеріне ерекше назар аударылған. Зертханалық деректер негізінде тау жыныстарының қасиеттері жүйеленіп, тұрақты және контрастты интервалдар ажыратылған. Өнімді горизонттар тұрақты параметрлерімен ерекшеленсе, кендену аймақтарының қасиеттері кеуектілік пен жарықшақтылыққа тәуелді екені анықталған. Алынған деректер геофизикалық өрістерді интерпретациялауды нақтылауға және кейінгі зерттеулер үшін тиімді әдістерді таңдауға мүмкіндік береді.*

Кілт сөздер: *физикалық қасиеттер, жүйелеу, вариациялық қисықтар, статистикалық өңдеу, заңдылықтар, Жезқазған, стратиформды кен орындары, өнімді горизонт.*

Кіріспе

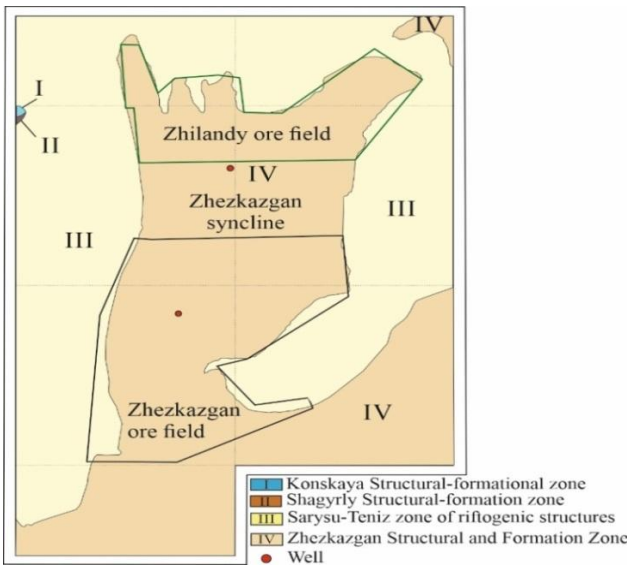
Орталық Қазақстандағы Жезқазған кен ауданы – Орта Азиядағы мыс қоры бойынша ең ірі аудандардың бірі. Карбон жасының стратиформды полигенді минералдануы Жезқазған синклиналіне сәйкес келеді және сұр түсті құмтастардан тұратын Тасқұдық және Жезқазған свиталарымен байланысты.

Жезқазған тобына Жезқазған, Ақши, Спас, Тасқұдық кен орындары кіреді. Ең ірісі – Жезқазған кен орны, ол синклинальдың оңтүстік тұйығына және үш жарылыс сызықтарының қиылысу аймағына сәйкес келеді, мұнда деформациялар мен жарықшақтылық кендердің жергіліктенуіне жағдай жасаған.

Жыланды тобы Жыланды синклиналіне сәйкес Сары-Оба, Итауыз, Қыпшақпай, Қарашошақ, Көпқұдық кен орындарын қамтиды. Ең ірісі – Сары-Оба, онда кендену Сарыоба көтеріліс-жарылымымен бақыланады. Аудан күрделі тектоникалық құрылымы және жоғары жарықшақтылығымен ерекшеленеді, жақсы зерттелгенімен, 1600 м-ден терең орналасқан Жезқазған синклиналының перспективалары әлі толық анық емес. Жалпы, кен орындарының екі тобы ажыратылады – Жезқазған және Жыланды (1-сурет).

2017 жылы «Центргеолсъемка» ЖШС Жезқазған синклиналының аумағында екі терең іздеу ұңғымасын бұрғылады: солтүстігінде №1 (1800 м) және оңтүстігінде №2 (1700 м). Керннің шығымы жоғары болды (95-100%). №1 ұңғыма Жезқазған, Тасқұдық свиталарының және Белеутін қабаттарының өнімді горизонттарын кесіп өтіп, құрылымның солтүстік бөлігінің кенділігін растады. №2 ұңғыма құрылымның оңтүстік бөлігінде өнімді горизонттардың тереңірек жататынын көрсетті.

Осыған байланысты көтеріңкі блоктар шегінде (~25×15 км) 1500 м-ге дейінгі тереңдікте көмілген кенді объектілерді іздеу міндеті туындады. 2010 жылдан бастап ұңғымаларды геофизикалық әдістермен зерттеу (ҰГЗ) және геофизикалық деректерді өңдеудің инновациялық әдістері қолданылуда. Бұрғылау жұмыстарының қымбаттығына байланысты негізгі назар геофизикалық



1-сурет – Жезқазған кенді ауданының кенді алаңдарының орналасу сұлбасы

зерттеулерге аударылды: гравитациялық және магниттік барлау, литохимия, электрлік және сейсмикалық барлау. Электрлік барлау 400 м тереңдікке дейін тиімді болса, грави- және магниторазведка жоғарғы және терең горизонттарды карталауға мүмкіндік береді. Жезқазған ауданында Қазақстанда алғаш рет кенді объектілерді модельдеу және құрылымды нақтылау үшін 3D-сейсмикалық барлау және шағылған толқындар әдісі қолданылуда [1].

Тереңде жатқан кендерді іздеудің тиімділігі интерпретация сапасына және тау жыныстарының физикалық қасиеттері жөніндегі білім деңгейіне тәуелді болғандықтан, Жезқазған кенді ауданы үшін петрофизикалық сипаттамаларды зерттеу аса маңызды.

Зерттеу әдістері

Жезқазған кенді ауданының геологиялық құрылысын зерттеу барысында тау жыныстарының магниттік, тығыздық, электрлік және серпімді қасиеттерін кеңістіктік талдауға және сандық бағалауға, оларды формациялар, свиталар және литологиялық айырмашылықтар деңгейінде жүйелеуге ерекше көңіл бөлінді.

Петрофизикалық зерттеулер екі кезеңнен тұрды. Алдымен шамамен 15 000 үлгі бойынша деректер (оның ішінде, 1800 м-ге дейінгі тереңдіктен алынған керндер) жиналып, қорытылды; олар негізінен орта–жоғарғы карбон мен пермь жыныстарына жатады. Кейін статистикалық өңдеу жүргізілді: деректер жасы, литологиясы және формациялары бойынша жүйеленді; тығыздық үшін қалыпты таралу заңы, ал магниттік сезімталдық үшін логнормальды таралу заңы қолданылды [2].

Негізгі назар кенді денелерді интерпретациялау мен модельдеу кезінде қолданылған петротығыздық және магниттік қасиеттерге аударылды. Параметрлер жыныстардың литологиясын, таралу аймағын, қалыңдығын, қалдық магниттелуін және таралу гистограммаларын (2-сурет) ескере отырып есептелді.

Орташа параметрлер моменттер әдісімен, жыныстардың литологиясы мен көлемін ескере отырып, ал магматиттер үшін олардың құрамы мен жасы бойынша есептелді. Бұл деректер свиталар мен интрузивтердің геофизикалық аномалияларға әсерін бағалау үшін пайдаланылды.

Меншікті электрлік кедергі мен поляризациялану сипаттамалары әртүрлі ұйымдар жүргізген каротаж және электрлік барлау деректері негізінде зерттелді. Бұл әдіс синклинальдың солтүстік бөлігінде стратиформды кен орындарын зерттеу және іздеу әдістемелерін жетілдіру мақсатында кеңінен қолданылды.

Тау жыныстарының серпімді қасиеттері Жезқазған, Жыланды және оған іргелес аудандарда жүргізілген сейсмикалық барлау мен тік сейсмикалық профильдеу (ТСП) деректері бойынша зерттелді. Тереңдікке байланысты орташа жылдамдықтың өзгерісі анықталып, $V_{ср}(t_o)$ графиктері тұрғызылды. Сарыоба антиклиналінде пермь шөгінділерінің қалыңдығының азаюына байланысты жылдамдықтардың артуы байқалады; қималарды талдау кезінде төмен жылдамдықты кешендерді ескере отырып, орташаланған графиктер пайдаланылды (3-сурет).

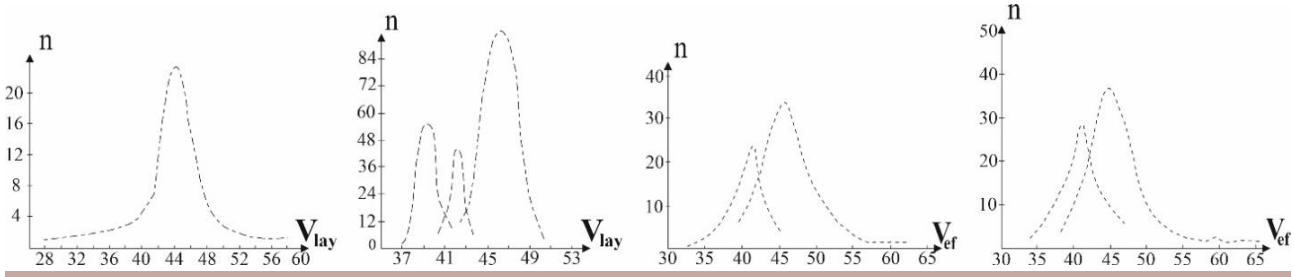
«Жезқазғангеология» ААҚ Жаман-Айбат және Құмолы құрылымдарында 12 ұңғымада ВСП жұмыстарын жүргізіп, кенді алаң мен жарылым аймақтарын қамтыды. Карбон шөгінділерінің (оның ішінде, Тасқұдық свитасының) қалыңдығының артуы анықталды. Ұңғымалардың тереңдігінің жеткіліксіз болуына байланысты жоғарғы девон жыныстары зерттелмеген, ал олар бойынша деректер көршілес учаскелерден алынған (V = 5000-6000 м/с) [3]. Интервалдық жылдамдықтар қима бойынша айқын дифференцияланып, цементация, кеуектілік және тектоникамен байланысты біртексіздіктерді көрсетеді.

Керн үлгілері үшін сейсмикалық деректерді интерпретациялау кезінде қажетті акустикалық импеданс есептелді:

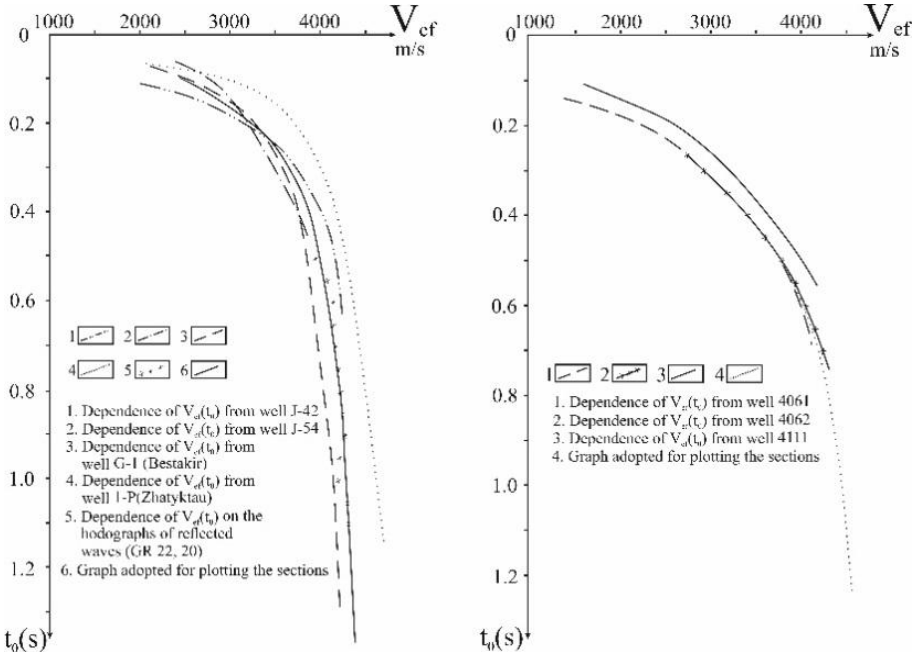
$$Z = \rho \times V,$$

мұндағы ρ – тығыздық, V – қабаттық жылдамдық.

Есептеулер қабаттық жылдамдықтар негізінде жүргізілді, өйткені зерттеліп отырған аймақта тығыздықтың өзгерісі жылдамдықпен салыстырғанда шамалы (кесте).



2-сурет – Тиімді және орташа жылдамдықтардың таралу гистограммалары



3-сурет – ВСП нәтижелері бойынша Vcp(t_o) тәуелділік графиктері

Ғылыми нәтижелер

Жезқазған ауданы бойынша талдау нәтижелері құрылымдық-формациялық зоналардың, шөгінді-вулканогендік кешендер свиталарының, интрузивтік массивтердің және өнімді горизонттардың жыныстарының петрофизикалық сипаттамалары негізінде ұсынылған. Аудан Сарысу–Теңіз рифтогендік құрылымдар зонасын (D3-C2) және Жезқазған құрылымдық-формациялық зонасын (C2-P2) қамтиды, ал батысында Кон (O2) және Шағырлы құрылымдық-формациялық зоналарының фрагменттері кездеседі.

Ең көне терригендік свиталар (шайтантастық, қызылтаулық) тығыздығы 2,65-2,73 г/см^3 болғанымен, қалыңдығының аздығына байланысты гравитациялық өрісте көрініс таппайды. Жезқазған құрылымдық-формациялық зонасы мен Сарысу-Теңіз зонасы жыныстарының орташа салмақталған тығыздығы – 2,62 г/см^3; тығыздығы жоғары свиталарға Тасқұдық (2,70), Жезқазған (2,68) және Кінгір (2,66) жатады. Шөгінді-терригендік қима жалпы алғанда магнитсіз (χ = 1-60·10^{-5}), әлсіз аномалиялар (200 нТл-ге дейін) гранодиориттермен, ал күшті аномалиялар (>200 нТл) ультрамафиттер мен габбро жыныстарымен (χ = 636-1652·10^{-5}) байланысты.

Төменгі карбон жыныстарының орташа тығыздығы 2,08 г/см^3 (мергельдер) мен 2,70 г/см^3 (әктас) аралығында өзгеріп, орташа мәні 2,57 г/см^3 құрайды. Гравитациялық өрісте олар Δg градиент аймақтары және әлсіз төмендеулер түрінде байқалады. Орта-жоғарғы карбонның терригендік-шөгінді кешендері (Тасқұдық және Жезқазған свиталары) магнитсіз (χ = 7-358·10^{-5} СИ бірл.), олардың тығыздығы 2,55-2,70 г/см^3. Гравитациялық өрісте жергілікті оң аномалиялар (>2 мГал), ал магниттік өрісте әлсіз таңбасы ауыспалы өріс (–50…+50 нТл) тіркеледі.

Жаман-Айбат құрылымындағы тау жыныстарының қабаттық жылдамдығы мен тығыздығы (Смирнова Н.Н., 1998)

№	Жасы	Литологиялық құрам	Қабаттық жылдамдық, V, м/с	Тығыздық, σ, г/см³
1	Q	Беткі құмдар	-	-
2	Uz-Kz	Құрғақ құмдар, саз-құм қоспалары	400-1500	1,8/1,60-2,60
3	Mz	Палеозой жыныстарының үгілу қыртысы	1800	1,80/1,60-2,60
4	K2	Түрлі-түсті және сұр саздар	1600-2200	-
5	P_{1-2} kn	Қара мергельдер, әктастар, құмтастар	5000-5500	-
6	P_{1-2} kn	Ашық мергельдер, құмтастар, аргиллиттер	3000-3800	2,20
7	P_1zd	Қызыл және сұр-қызыл құмтастар гипс қоспаларымен, алевролиттер	3000-3800	2,20
8	P_1zd	Аргиллиттер, карбонат қоспалары бар қызыл және сұр-қызыл құмтастар	4400	2,47
9	P_1zd-C_3dz	Құмтастар		2,52
10	C_3dz	Қызыл және сұр-қызыл құмтастар	4200-4800 (до 5000)	До 2,65-2,73
11	C_2ts	Қызыл және сұр-қызыл құмтастар	4200-4800	2,63
12	C_1v_3-s	Қызыл және сұр-қызыл құмтастар	4200-4800	-

Пермь кешендері магнитсіз (χ = 5-60·10⁻⁵ СИ бірл.) және тығыздығы төмен (2,1-2,66 г/см³): Жиделісай свитасы – 2,54-2,60, Кіңгір свитасы – 2,66 г/см³. Олар гравитациялық минимумдарға сәйкес келеді, ал жергілікті теріс аномалиялар (–5 мГал-ға дейін) Кіңгір свитасының мергельдерін көрсетеді. Төменгі пермьнің магниттік өрісі бірқалыпты (–50…–150 нТл), жекелеген әлсіз аномалиялар (100-200 нТл) гранодиориттік интрузиялармен байланысты.

Мезокайнозойлық шөгінділер магнитсіз және тығыздығы төмен (1,8-2,38 г/см³), бұл палеозой кешендерінен 0,24-0,8 г/см³-ке төмен. Жезқазған құрылымының (D-P) жыныстарының орташа тығыздығы – 2,62 г/см³. Тығыздығы жоғары свиталарға Тасқұдық (2,70), Жезқазған (2,68) және Кіңгір (2,66-2,72) жатады; Жиделісай свитасының тұзды жыныстары төмен тығыздықпен (2,54 г/см³) сипатталады.

Магниттік сезімталдығы бойынша жыныстар мынадай топтарға бөлінеді: магнитсіз (0-100·10⁻⁵ СИ бірл.), әлсіз магнитті (100-700), магнитті (700-3000) және күшті магнитті (>3000). χ мәнінің ауытқуы магнетит мөлшеріне байланысты. Белеутін, Тасқұдық және Жезқазған свиталарының құмтастары χ = 100-195·10⁻⁵ СИ бірл., кейде 300-360-қа дейін жетеді. Мыс кендері магниттік қасиеттері бойынша оларды қоршаған жыныстарға ұқсас.

Төменгі пермьде тұз қабаттарының болуына байланысты тығыздық 2,18-2,2 г/см³-ке дейін, ал үгілу мен децементация нәтижесінде 2,2-2,4 г/см³-ке дейін төмендейді, бұл гравитациялық өрісте көрініс табады. Магматизм докембрийлік және герциндік гранитоидтармен сипатталады, олармен мыс (Жезқазған) және вольфрам-молибден кен орындары (Айыршоқы, Ұлытау) байланысты [4]. Палеозойлық вулканиттермен темір мен марганец кен орындары (Найзатас, Жезді), ал Ұлытаудың серпентиниттерімен хром, никель, кобальт және асбест көріністері байланысты. Жыланды кен алаңына ең жақын кен орындары герциндік гранитоидтарға сәйкес келеді.

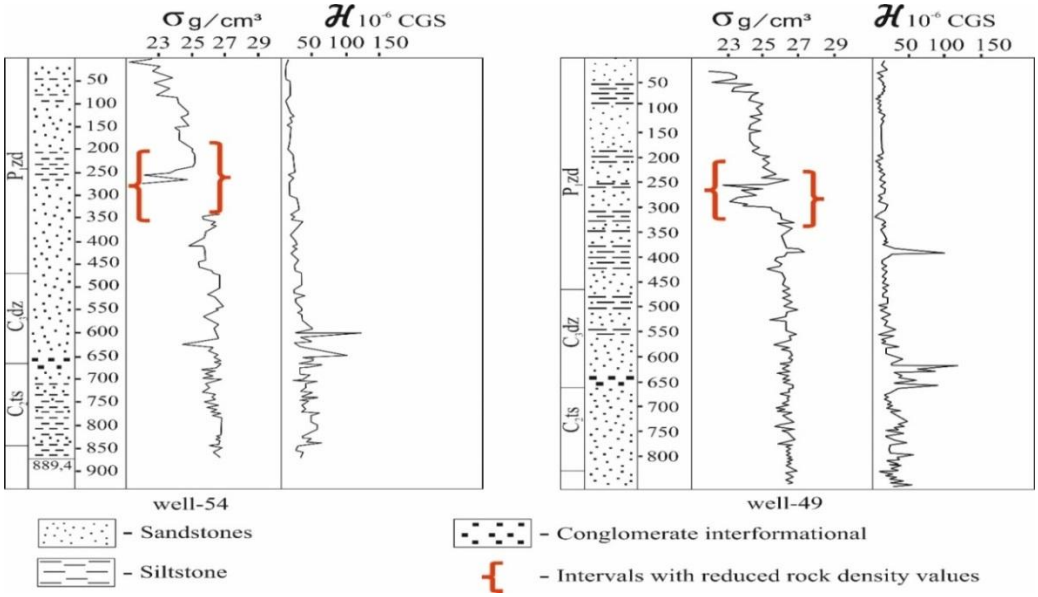
Интрузивтік жыныстардың тығыздығы әртүрлі: граниттер – 2,56 г/см³, гранодиориттер – 2,66, кварцты диориттер – 2,81, габбро – 2,99 г/см³-ке дейін; кембрий жасының серпентиниттері – 2,57-2,73 г/см³ [5,6].

Гранитоидтар негізінен магнитсіз, тек гранодиориттер ғана ерекшелік болып табылады (χ ≈ 636·10⁻⁵ СИ). Орта және негізгі құрамды жыныстардың магниттік сезімталдығы χ = 714-1390·10⁻⁵, серпентиниттерде – 1684·10⁻⁵-ке дейін, ал Шайтантас аймағында – 5560·10⁻⁵-ке дейін жетеді. ВЭЗ, ДЭЗ, ВП және каротаж деректері бойынша электрлік параметрлер: палеогендік саздар – 1-5 Ом·м, үгілу қыртысы – 500 Ом·м-ге дейін.

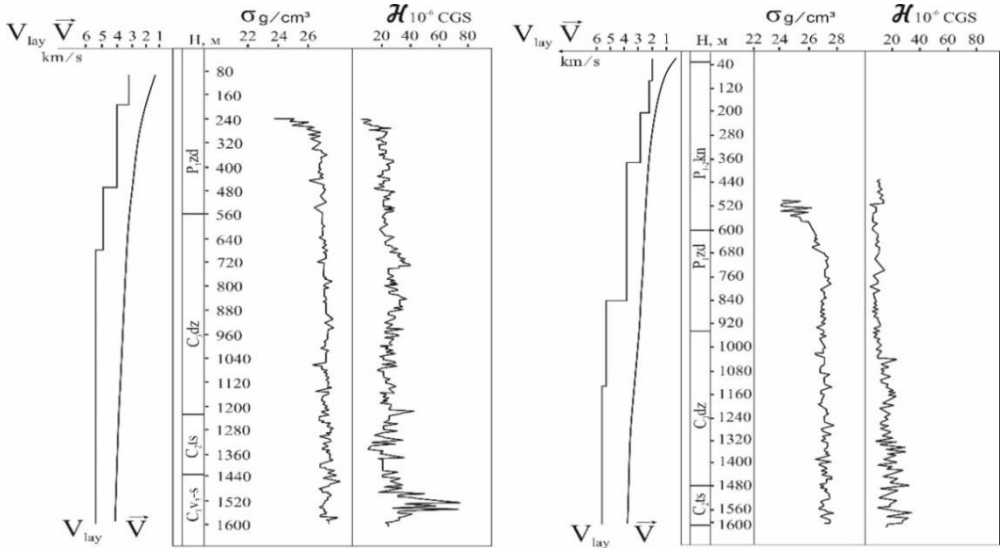
Төмен омды жыныстар мезокайнозойлық және жиделісайлық шөгінділермен байланысты (~50 Ом·м). Карбонатты-терриген-

дік және девондық жыныстардың меншікті кедергісі 100-300 Ом·м, құмды-карбонатты және магмалық жыныстарда – 1000 Ом·м-ден жоғары. Жезқазған және Тасқұдық свиталарының көрсеткіштері өзгермелі: құмтастар – 150-400 Ом·м, аргиллиттер – 10-150 Ом·м, ал сұр түсті құмтастарда жоғары мәндер байқалады. Полярланғыштық 2,0-3,97%-ға дейін жетеді [7, 8].

ТСП деректері бойынша төмен жылдамдықтар зонасы (500-1700 м/с) бөлінеді, оның үстін кайнозойлық саздар (1500-2400 м/с) және үгілу қыртысы (2200-2700 м/с) жауып жатыр. Төменгі таскөмір жыныстарының жылдамдығы 4000-6500 м/с, орта-жоғарғы карбон жыныстарында – 4000-5500 м/с, Жезқазған свитасында – 4500-5000 м/с. Пермь жыныстарында жылдамдықтар кең ауқымда өзгереді: Жиделісай және Төменгі Кінгір свиталарында 2600-4000 м/с, галогенді жыныстарда 3500-5000 м/с, жоғарғы кингир свитасында 5000-5500 м/с. Жалпы



4-сурет – Ю-54 және Ю-49 ұңғымалары бойынша тығыздық пен магниттік сезімталдық графиктері («Жезқазғангеология» АҚ)



5-сурет – 4062 ұңғымасы бойынша ПМ-ТСП өңдеу нәтижелері және қиманың физикалық сипаттамалары («Жезқазғангеология» АҚ)

алғанда қима 1250-5200 м/с диапазонымен сипатталады, бұл көрсеткіштерге жарықтар, кеуектілік және фациялық өзгерістер айтарлықтай әсер етеді; жоғарғы қабаттардың біртекті болмауы параметрлердің нақтылығын төмендетеді [9, 10].

Қорытындылар

Негізгі қорытындылар:

1. Сарысу-Теңіз зонасы мен Жезқазған құрылымдық-формациялық зонасында тығыздық шекаралары бөлінеді: теріс аномалиялар тығыздығы жеткіліксіз жыныстармен, ал оң аномалиялар тығыздығы жоғары түзілімдермен байланысты; интрузивтер (гранитоидтар, диориттер, габброидтар) де аномалиялар қалыптастырады.

2. Пермьге дейінгі шөгінді-терригендік қима магнитсіз, магниттік өріс іргетас пен тереңдік интрузияларымен байланысты.

3. Электрлік кедергі төменнен жоғары қарай артады: мезокайнозойда Ом·м-нің бірліктерінен палеозой мен рифейде мыңдаған Ом·м-ге дейін; кенді құмтастар кенсіздерінен аз ерекшеленеді, сондықтан негізгі іздеу критерийі ретінде полярланғыштық сақталады.

4. Жылдамдықтық модель қиманың жоғарғы бөлігінде жылдамдықтардың өсуін (5600 м/с-ке дейін) және жыныстар жасының ұлғаюымен тығыздық пен жылдамдықтардың заңды түрде артуын көрсетті; акустикалық қаттылықтың секірмелі өзгерістері шағылыстыратын горизонттарды қалыптастырады, бұл әлсіреген құрылымдарды картаға түсіруге және геофизикалық өрістерді геологиямен байланыстыруға мүмкіндік береді.

Жыныстар қасиеттерінің дифференциясын және геофизикалық әдістердің ақпараттылығын ескере отырып, әдістер кешенін қолдану ұсынылады:

1. Жоғарғы палеозойлық қалыңдықтардың астындағы перспективалы құрылымдарды бөлу мақсатында Жезқазған синклиналының көмілген бөлігінде детальды сейсмобарлау және ВСП жүргізу;

2. Кенденумен байланысты өткізгіштік пен полярланғыштықтың терең аномалияларын анықтау үшін ЗСБ және ТЭЗ-ШП электрбарлау әдістерін қолдану.

Түйін

Жезқазған ауданы бойынша алынған жаңа петрофизикалық деректер қиманың біртекті еместігін және жыныстардың физикалық қасиеттерінің таралуын көрсетеді. Талдау жергілікті аномалияларды анықтауда, кенді аймақтарды бөлуде және тереңде жатқан объектілердің модельдерін құруда әдістердің тиімділігін растады. Аймақта геофизикалық зерттеулер кеңінен қолданылуда, ал петрофизика мыс кенденуін іздеуде және деректерді интерпретациялау кезіндегі екіұштылықты азайтуда негізгі элемент болып қала береді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Istekova S.A. Sirazhev A.N. Temirkhanova R.G. «Geological and geophysical conditions for the use of 3D seismic prospecting in solving problems of ore geology» Conference Paper. European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, Engineering and Mining Geophysics 2021, Gelendzhik Russia. Scopus. Apr 2021, Volume 2021, pp. 13-21. ISSN 2658-6924 DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152070
2. Sirazhev A., Istekova S., Tolybaeva D., Togizov K., Temirkhanova R. (2025). Methodology and results of detailed 3D seismic exploration in the Zhezkazgan Ore District. Applied Sciences, 15 (2), 567. https://doi.org/10.3390/app15020567
3. Istekova S., Makarov A., Tolybaeva D., Sirazhev A., Togizov K. (2024). Determining the boundaries of overlying strata collapse above mined-out panels of Zhomart mine using seismic data. Geosciences, 14 (11), 310. https://doi.org/10.3390/geosciences14110310
4. Istekova S., Aidarbekov Z., Togizov K., Saurykov Z., Sirazhev A., Tolybayeva D., Temirkhanova R. (2024). Lithophysical characteristics of productive strata of cupriferous sandstone within Zhezkazgan Ore District in the central Kazakhstan. Mining of Mineral Deposits, 18 (3), 9-17. https://doi.org/10.33271/mining18.03.009
5. Камалиден, А.С. Петрографическая характеристика вулканогенно-осадочных пород Сарысу-Тенизского поднятия / А.С. Камалиден // Молодой ученый. – 2020. – № 14 (304). – С. 126-130. – URL: https://moluch.ru/archive/304/68498/.

6. S. Istekova et al. (2024). Lithophysical characteristics of productive strata of cupriferous sandstone within Zhezkazgan ore district in the Central Kazakhstan Mining of Mineral Deposits, 18 (3), 9-17. https://doi.org/10.33271/mining18.03.009
7. Макфи К., Рид Дж., Зубизаретта И. Лабораторные исследования керна: гид по лучшим практикам. М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. 924 с.
8. Niyaz A.T., Togizov K.S., Istekova S.A. (2023). Seismic data dynamic interpretation in the study of the lateral variability of petroleum bearing terrigenous reservoirs. Series of geology and technical sciences, 6 (462), 145-156. https://doi.org/10.32014/2023.2518-170x.355
9. Bekeyeva G.G., Tungushbayeva A.T., Ponomareva M.V. Mineragenic factors of ore containment in the Zhezkazgan mining district. International scientific journal «Symbol of Science». 2024, 12-2-2.
10. Kassymkanova K.K. et al. (2023). Improving a geophysical method to determine the boundariesof ore-bearing rocks considering certain tectonic disturbances. Mining of Mineral Deposits, 17 (1), 17-27.

Геолого-геофизическое обоснование комплексных геофизических исследований Жезказганского рудного района

ИСАЕВА Людмила Джандуйсеновна, *д.г.-м.н., профессор, l.issayeva@satbayev.university,*
ИСТЕКОВА Сара Аманжоловна, *д.г.-м.н., профессор, s.istekova@satbayev.university,*
****ТОЛЫБАЕВА Дина Нурпейсовна,*** *докторант, старший преподаватель, d.tolybayeva@satbayev.university,*
АБЛЕСЕНОВА Зухра Нигметжановна, *докторант, старший преподаватель, z.ablessenova@satbayev.university,*
ТОГИЗОВ Куаныш Серикханович, *PhD, профессор, k.togizov@satbayev.university,*
НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», ул. Сатпаева, 22а, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассмотрены физические свойства пород и руд Жезказганского рудного района со сложным строением и крупными меднорудными залежами. Особое внимание уделено изменениям магнитных, плотностных, скоростных и электрических характеристик, отражающим вариации по разрезу и площади района. На основе лабораторных данных систематизированы свойства пород, выделены устойчивые и контрастные интервалы. Продуктивные горизонты отличаются стабильными параметрами, тогда как зоны оруденения зависят от пористости и трещиноватости. Эти данные уточняют интерпретацию геофизических полей и помогают выбрать эффективные методы дальнейших исследований.*

Ключевые слова: *физические свойства, систематизация, вариационные кривые, статистическая обработка, закономерности, Жезказган, стратиформные месторождения, продуктивный горизонт.*

Geological and Geophysical Substantiation of Complex Geophysical Studies in the Zhezkazgan Ore District

ISSAYEVA Lyudmila, *Dr. of Geol. and Min. Sc., Professor, l.issayeva@satbayev.university,*
ISTEKOVA Sara, *Dr. of Geol. and Min. Sc., Professor, s.istekova@satbayev.university,*
****TOLYBAYEVA Dina,*** *Doctoral Student, Senior Lecturer, d.tolybayeva@satbayev.university,*
ABLESSENOVA Zuhra, *Doctoral Student, Senior Lecturer, z.ablessenova@satbayev.university,*
TOGIZOV Kuanysh, *PhD, Professor, k.togizov@satbayev.university,*
NPJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev», 22a Satpayev Street, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The article examines the physical properties of rocks and ores in the Zhezkazgan ore district, characterized by a complex structure and large copper deposits. Particular attention is given to variations in magnetic, density, velocity, and electrical characteristics, reflecting changes both across the section and within the area. Based on laboratory data, the properties of rocks were systematized, with stable and contrasting intervals identified. Productive horizons are distinguished by stable parameters, while ore zones depend on porosity and fracturing. These data refine the interpretation of geophysical fields and help select effective methods for further research.*

Keywords: *physical properties, variation curves, statistical analysis, regularities, Zhezkazgan, stratiform deposits, productive horizon.*

REFERENCES

1. Istekova S.A. Sirazhev A.N. Temirkhanova R.G. «Geological and geophysical conditions for the use of 3D seismic prospecting in solving problems of ore geology» Conference Paper. European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, Engineering and Mining Geophysics 2021, Gelendzhik Russia. Scopus. Apr 2021, Volume 2021, pp. 13-21. ISSN 2658-6924 DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152070
2. Sirazhev A., Istekova S., Tolybaeva D., Togizov K., Temirkhanova R. (2025). Methodology and results of detailed 3D seismic exploration in the Zhezkazgan Ore District. Applied Sciences, 15 (2), 567. https://doi.org/10.3390/app15020567
3. Istekova S., Makarov A., Tolybaeva D., Sirazhev A., Togizov K. (2024). Determining the boundaries of overlying strata collapse above mined-out panels of Zhomart mine using seismic data. Geosciences, 14 (11), 310. https://doi.org/10.3390/geosciences14110310
4. Istekova S., Aidarbekov Z., Togizov K., Saurykov Z., Sirazhev A., Tolybayeva D., Temirkhanova R. (2024). Lithophysical characteristics of productive strata of cupriferous sandstone within Zhezkazgan Ore District in the central Kazakhstan. Mining of Mineral Deposits, 18 (3), 9-17. https://doi.org/10.33271/mining18.03.009
5. Kamaliden, A.S. Petrograficheskaja harakteristika vulkanogenno-osadochnyh porod Sarysu-Tenizskogo podnjatija / A.S. Kamaliden // Molodoj uchenyj. – 2020. – № 14 (304). – Pp. 126-130. – URL: https://moluch.ru/archive/304/68498/.
6. S. Istekova et al. (2024). Lithophysical characteristics of productive strata of cupriferous sandstone within Zhezkazgan ore district in the Central Kazakhstan Mining of Mineral Deposits, 18 (3), 9-17. https://doi.org/10.33271/mining18.03.009
7. Makfi K., Rid Dzh., Zubizaretta I. Laboratornye issledovanija kerna: gid po luchshim praktikam. Moscow; Izhevsk: Institut komp'juternyh issledovanij, 2018. 924 p.
8. Niyaz A.T., Togizov K.S., Istekova S.A. (2023). Seismic data dynamic interpretation in the study of the lateral variability of petroleum bearing terrigenous reservoirs. Series of geology and technical sciences, 6 (462), 145-156. https://doi.org/10.32014/2023.2518-170x.355
9. Bekeyeva G.G., Tungushbayeva A.T., Ponomareva M.V. Mineragenic factors of ore containment in the Zhezkazgan mining district. International scientific journal «Symbol of Science». 2024, 12-2-2.
10. Kassymkanova K.K. et al. (2023). Improving a geophysical method to determine the boundariesof ore-bearing rocks considering certain tectonic disturbances. Mining of Mineral Deposits, 17 (1), 17-27.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_125 UDC 311.2:614(476)

Linear-correlation Model of Population Health (Based on the Example of the Kyzylorda Region of the Republic of Kazakhstan)

[1]***MUSTAFAYEVA Minayim,*** *Doctoral Student, mminayim00@mail.ru,*
[2]****MUSTAFAYEV Zhumakhan,*** *Dr. of Tech. Sc., Professor, z-mustafa@rambler.ru,*
[1]*NCJSC «Mukhtar Auezov South Kazakhstan University», 5 Tauke Khan Avenue, Shymkent, Kazakhstan,*
[2]*JSC «Institute of Geography and Water Security», 99 Pushkin Street, Almaty, Kazakhstan,*
**corresponding author.*

Abstract. *This study assesses the causal relationships between public health and the growth of anthropogenic activities within environmental management systems using linear mathematical models based on long-term statistical data. By enhancing the validity of measures aimed at preventing and reducing morbidity, the research aims to improving the health situation in the region. The study examines the health of the population in spatial and temporal aspects to theoretically demonstrate the applicability of a linear correlation model as an integral medical-demographic indicator. The methods employed include system analysis, mathematical statistics, and time series analysis, which together facilitate the identification of trends in public health through graphical representations. The novelty of this research lies in the development of one-parameter models that improve the accuracy of predictive and retrospective calculations based on inherently uncertain and probabilistic medical and demographic indicators. The resulting linear correlation model of morbidity, grounded in a comprehensive database of medical and demographic data from the Kyzylorda region, offers a broad understanding of the trends and outcomes associated with this process.*

Keywords: *population, morbidity, research base, methods, analysis, assessment, trend, linear correlation model.*

Relevance. Analysis of assessments of causal relationships regarding public health in the context of anthropogenic activity, where the natural and environmental situation has reached a dangerous frontier, as a result of which uncontrolled and unmanageable natural processes have formed, shows a close relationship between the characteristics of public health and the state of the environment, socio-economic, demographic, medical and other factors.

The use of statistical modeling methods on this basis for the quantitative assessment of relationships and forecasting of public health makes it possible to objectively assess the emerging causal relationships between living conditions and the health of the population living in the zone of an anthropogenically induced environmental disaster. Quantitative assessments of causal relationships can be used in a regression correlation model of public health, which arose from a logical assumption about the possibility of assessing trends in their changes based on long-term statistical indicators of public health, which ensure the creation of a research base, which is a prerequisite for determining an integral indicator of health.

The purpose of the research is to study the health of the population in spatial and temporal aspects for the theoretical demonstration of the possibilities of using a linear correlation model, as a reflection of an integral medical-demographic indicator.

The object of the research is the medical-demographic state of the population of the Kyzylorda region of the Republic of Kazakhstan, located in the zone of an anthropogenic-natural ecological disaster associated with the loss of the geographical property of the Aral Sea as a water body and the formation of the Aralkum desert in its place. The Kyzylorda region is divided into the following administrative districts: Aral, Kazalinsky, Karmakshy, Zhalagash, Syrdarya, Shieli, Zhanakorgan dis-

tricts.

Materials and methods of research. The information and analytical base of the research is the data of the Department of Medical Statistical Analysis of the RSE on the REM «National Scientific Center for the Development of Healthcare named after Sagadat Kairbekova», as well as data from the statistical collection «Health of the Population of the Republic of Kazakhstan and the Activities of Healthcare Organizations» for the period from 2000 to 2022. Based on the analysis of information and analytical materials, a research base was formed in the form of a special system, including: the incidence of the population registered for the first time in life (NP), neoplasms (DNP), genitourinary system (DGSNP), digestive organs (DDSP) and the mortality rate of the population (MR) in the Kyzylorda region, broken down by administrative districts located in the zone of an anthropogenic-natural ecological disaster.

There are numerous studies, among which the works of N.V. Lazerova [1] should be highlighted, where the correlation between disease dynamics and the influence of environmental factors is examined; the works of L.V. Veremchuk and others [2] are devoted to the systematic assessment of the human habitat using methods of correlation clusters; V.A. Medik [3], where the evaluation of morbidity is considered as the subject of statistical research; A.S. Karkach and A.A. Romanyukh [4], and A.G. Kulak [5], where attempts are made to assess population health using mathematical models.

One of the fundamental directions in assessing population health is the traditional time series analysis methods developed in the works of M.A. Kondratyev [6] – regressive and autoregressive models based on empirical data; V.I. Baluta, V.P. Osipov, T.V. Sivakova [7], where a paradigm shift in approaches to morbidity modeling in the context of digital methods and platforms was carried out using methods of mathematical statistics; V.O. Shchepin, A.A. Zagoruychenko, O.B. Karpova [8], dedicated to studying and summarizing existing experience in forecasting and modeling morbidity, analyzing the main methods and approaches to its forecasting; the works of M.S. Tokmachev [9], B.J.J. McCormick, W.J. Alonso, and M.A. Miller [10], M.Yu. Tsinker, D.A. Kiryanov, S.V. Klein [11], S. Altizer, R.S. Ostfeld, P.T.J. Johnson, S. Kutz, & C.D. Harvell [12], Hondula D.M., Barnett A.G. [13], O.F. Chistik [14], Dave Eleojo Ekpa, Eunice A. Salubi, Johnson Adedeji Olusola, Dare Akintade [15], which are associated with the use of regression models allowing for a significant and substantiated modeling method that provides a quantitative assessment of this qualitative phenomenon.

An analytical review of these models reveals that the development of tools based on linear-correlation models using time series, characterizing population health and reflecting their trends under various assumptions about the quantitative and qualitative aspects of the studied process, provides valuable information necessary to determine the integral indicator of population health.

The methodological basis of the study, aimed at creating a database of statistical data on population health and constructing their linear-correlation model, is presented by general scientific and specialized methods, including causal, systemic, structural, correlation, and regression analysis.

Research results. To assess the trends in morbidity changes over time, one can use the method of standard mathematical-statistical analysis and modeling in the form of correlation analysis, which is widely applied in medical-geographical research.

The most effective tool for the systemic analysis of the incidence of the population can be special mathematical models describing their functions of time, which have the form of a linear regression:

$$PM_i = a \cdot SNY_i + b, \quad (1)$$

where PM_i – annual incidence rate of the population per 100,000 people;

a – regression coefficient;

b – indicator characterizing the increase in the next value of the time series;

SNY_i – period number or serial number of the year.

The resulting linear correlation model of population morbidity allows us to calculate conditional long-term forecasts of population health under various assumptions about quantitative and qualitative aspects and to determine the main statistical characteristics of the process under study:

- absolute increase, which characterizes an increase or decrease in population morbidity indicators ($AIPM_i$), showing the quantitative value of any annual population morbidity indicator (PM_{ei}) at the end of the period under consideration ($EPUR_i$) to its initial value (PM_{vi}) at the beginning of the period under consideration ($BPUR_o$), where

$BPUR_o = 1 = const$ and is determined by the formula:

$$AIPM_i = PM_{ei} - PM_{vi} = a \cdot (EPUR_i - 1), \quad (2)$$

- growth rate of population morbidity indicators ($PMGR_i$) which shows the relative value of the absolute increase in population morbidity indicators ($IWCGR_i$) over the period of the

period under review ($EPUR_i$) and is calculated by the formula:

$$PMGR_i = \frac{a \cdot (EPUR_i - 1)}{EPUR_i}, \quad (3)$$

- growth rate of population morbidity indicators ($CIGR_i$), which is the ratio of the quantitative value of any indicator of population morbidity (PM_{ei}) at the end of the period under consideration ($EPUR_i$) to its initial value (PM_{vi}) at the beginning of the period under consideration period ($BPUR_o$) and is determined by the formula:

$$GIGM_i = \frac{PM_{ei}}{PM_{vi}} = \frac{a \cdot EPUR_i + b}{a + b}. \quad (4)$$

To illustrate the presented conclusions, based on model (1)-(4), all statistical calculations of the time series characterizing the annual morbidity rates of the population were carried out and their linear trend graphs were constructed using Microsoft Excel, a fragment of which is shown in Figure.

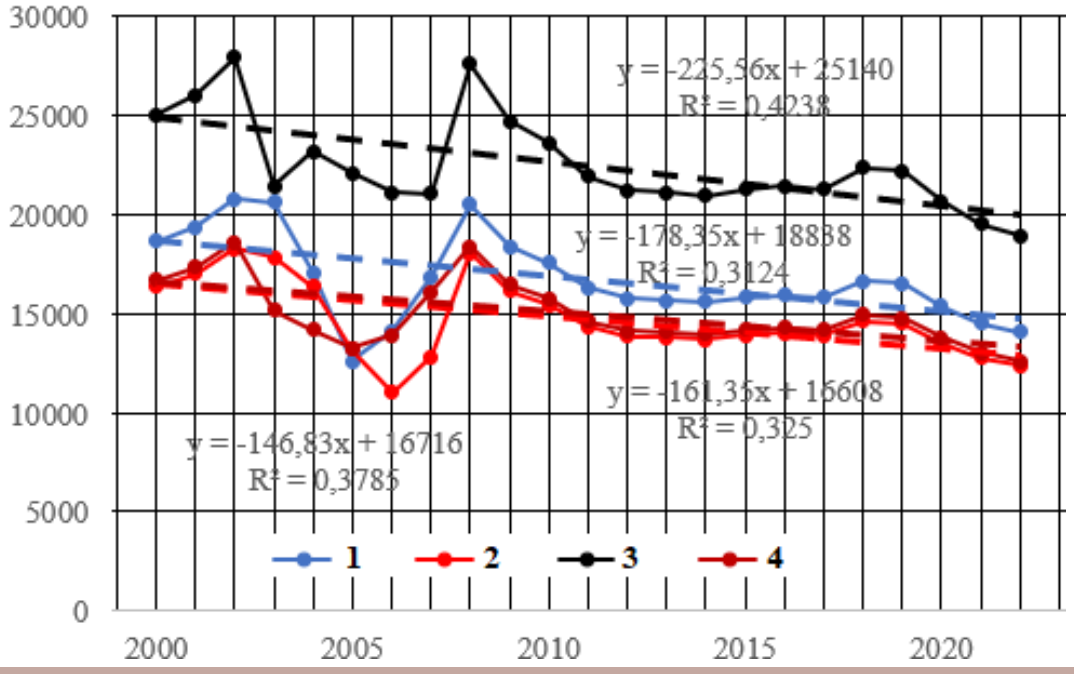
Analysis of functions of population morbidity over time, obtained on the basis of standard mathematical procedures using long-term statistical data on types of morbidity of the population of the Kyzylorda region in the context of administrative districts, made it possible to obtain the quantitative value of their constant parameter and regression coefficient, which are structural elements of linear correlation models of the process under study (Table).

A dynamic analysis of the morbidity rate of the population of the Kyzylorda region in the context of administrative districts for the period from 2000 to 2020 showed that, as a subject of statistical research, there is a quantitatively measurable mass phenomenon that reflects the health of the population in two directions (Table):

- the time aspect of the analysis showed that the dynamics of population morbidity (NP_i) of the genitourinary system ($DGSNP_i$) digestive organs ($DDSP_i$) and population mortality (MP_i) is negative, and neoplastic diseases (DNP_i) positive, which implies a certain degree of improvement in the medical and demographic situation in the region;

- the spatial aspect, including a quantitative description of inter-territorial differences in population morbidity, showed that improvements in the medical and demographic situation occur depending on the territorial location of administrative districts from northwest to southeast along the Syrdarya River basin.

To quantitatively assess the strength of the trend equation, the coefficient of determination is used-it is the square of the correlation coefficient, which characterizes the relationship between variables over time. In the conditions of the Kyzylorda region, across administrative districts and by type of disease, it ranges from 0.3124 to 0.9685 (the strength of the rela-



Graph of changes in the overall incidence of the population (per 100,000 people) of the Aral (1), Kazalinsky (2), Karmakshinsky (3) and Zhalagashsky (4) districts of the Kyzylorda region for the period from 2000 to 2022 and their linear trend

Parameters of linear correlation models and statistical characteristics by type of morbidity among the population of the Kyzylorda region in the context of administrative districts and the city of Kyzylorda

Administrative districts	Parameters of linear correlation models		Statistical characteristics of the incidence of the population		
	α	b	$AIPM_i$	$PMGR_i$	$GRPM_i$
Population morbidity (NP_i) per 100,000 people					
Aralsk	-178,350	18838,000	-3923,70	-170,60	0,790
Kazalinsk	-161,350	16608,000	-3549,70	-154,33	0,784
Karmakshy	-225,560	25140,000	-4962,32	-215,75	0,801
Zhalagash	-148,830	16716,000	-3274,26	-142,36	0,802
Syrdarya	-145,680	15736,000	-3204,96	-139,35	0,794
Shieli	-138,030	14712,000	-3036,66	-132,03	0,792
Zhanakorgan	-104,780	12585,000	-2305,16	-100,22	0,815
Kyzylorda city	-195,050	21665,000	-4291,10	-186,57	0,800
Neoplasm diseases (DNP_i) per 100,000 people					
Aralsk	5,164	112,860	113,61	4,94	1,963
Kazalinsk	4,413	89,719	97,09	4,22	2,031
Karmakshy	6,620	122,860	145,64	6,33	2,125
Zhalagash	4,559	78,570	100,30	4,36	2,207
Syrdarya	4,616	85,219	101,55	4,42	2,130
Shieli	3,838	73,869	84,44	3,67	2,087
Zhanakorgan	3,505	61,679	77,11	3,35	2,183
Kyzylorda city	5,884	114,370	129,44	5,63	2,076
Diseases of the genitourinary system ($DGSNP_i$) per 100,000 people					
Aralsk	-67,781	5346,600	-1491,18	-64,83	0,718
Kazalinsk	-107,720	9329,000	-2369,84	-103,04	0,743
Karmakshy	-45,432	3434,500	-999,50	-43,46	0,705
Zhalagash	-48,191	6095,100	-1060,20	-46,10	0,825
Syrdarya	-81,279	4091,200	-1788,14	-77,75	0,554
Shieli	-78,212	5561,000	-1720,66	-74,81	0,686
Zhanakorgan	-80,662	5353,500	-1774,56	-77,15	0,663
Kyzylorda city	-67,503	5143,700	-1485,07	-64,57	0,707
Diseases of the digestive system ($DDSP_i$) per 100,000 people					
Aralsk	-128,870	7961,600	-2835,14	-123,27	0,638
Kazalinsk	-374,640	22826,000	-8242,08	-358,35	0,633
Karmakshy	-107,690	5916,400	-2369,18	-103,01	0,592
Zhalagash	-206,140	11086,000	-4535,08	-197,18	0,583
Syrdarya	-59,247	4091,200	-1303,43	-56,67	0,677
Shieli	-112,640	6285,200	-2478,08	-107,74	0,599
Zhanakorgan	-144,800	8737,900	-3185,60	-138,50	0,629
Kyzylorda city	-55,142	3488,000	-1213,12	-52,74	0,647
General mortality rate of the population ($GCMP_i$) per 1000 people					
Aralsk	-0,118	8,613	-2,60	-0,11	0,694
Kazalinsk	-0,045	7,432	-0,99	-0,04	0,866
Karmakshy	-0,052	7,741	-1,14	-0,05	0,851
Zhalagash	-0,009	6,273	-0,20	-0,01	0,968
Syrdarya	-0,004	6,341	-0,09	0,00	0,986
Shieli	-0,041	6,790	-0,90	-0,04	0,866
Zhanakorgan	-0,053	6,046	-1,17	-0,05	0,805
Kyzylorda city	-0,131	8,886	-2,88	-0,13	0,671

tionship varies from noticeable to high), which provides a basis for using a correlation-linear model when analyzing the studied phenomena.

Significant inter-territorial differences in the incidence of the population of the Kyzylorda region in the context of administrative districts for the period from 2000 to 2020 require a statistical study to identify and evaluate trends in their changes in spatial and temporal aspects (Table):

- the absolute increase in the incidence of the population registered for the first time in life (NPi) is negative, in the context of administrative districts it changes «-» from 2305.16 to 4962.32, the growth rate is «-» from 100.22 to 215.75 per 100,000 people and growth coefficient – from 0.784 to 0.815;

- the absolute increase in neoplasm disease (DNP_i) s positive, in the context of administrative regions it changes «+» from 77.11 to 145.64, the growth rate is «+» from 3.35 to 6.33 per 100,000 people and the coefficient growth – from 1.963 to 2.207;

- the absolute increase in diseases of the genitourinary system ($DGSNP_i$) is negative, in the context of administrative regions it changes «-» from 999.50 to 2369.84, the growth rate is «-» from 43.46 to 103.04 per 100,000 people and growth coefficient – from 0.663 to 0.825;

- the absolute increase in digestive diseases ($DDSP_i$) s negative, in the context of administrative regions it changes «-» from 1303.43 to 8242.08, the growth rate is «-» from 56.67 to 358.35 per 100,000 people and growth coefficient – from 0.554 to 0.0.825;

- the absolute increase in the general mortality rate of the population ($GCMP_i$) is negative, in the context of administrative regions it changes «-» from 0.09 to 2.60, the growth rate is «-» from 0.01 to 0.13 per 1000 people and growth coefficient – from 0.583 to 0.638.

The constructed linear-correlation model of morbidity among the population of the Kyzylorda region in the context of administrative districts adequately responds to the regression coefficient (α), characterizing the absolute increase ($AIPM_i$) and growth rate ($PMGR_i$), as well as together with the constant parameter (b), which determines the quantitative value of the growth coefficient ($GRPM_i$) of population morbidity.

The analysis of morbidity functions over time, obtained by solving the system of model equations based on research consisting of time series by disease type, shows that slight changes in absolute growth, growth rate, and growth coefficient, characterizing their trends, except for neoplastic diseases, are negative, which is to some extent due to improved social, environmental, and economic conditions in the Kyzylorda region.

Conclusions. The results of the model analysis, based on the obtained linear correlation equations characterizing the functions of population morbidity over time in the conditions of the Kyzylorda region in the context of administrative districts and carried out on the basis of their conditional calculations to determine their statistical characteristics, clearly demonstrate the trend of their changes in spatial and temporal aspects.

The resulting functions of population morbidity over time make it possible to calculate the absolute increase, growth rate and growth coefficient under various assumptions about the quantitative and qualitative aspects of the process under study and predetermine the tendency of their change in the conditions of anthropogenic activity, which is reflected in the regression coefficients and the constant parameter in linear-correlation models of population morbidity.

REFERENCES

1. Lazerova N.V. Correlation of the dynamics of population morbidity depending on the influence of environmental factors // Karelian Scientific Journal, 2015. – No. 4 (13). – Pp. 87-89.
2. Veremchuk L.V., Mineeva E.E., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A. The influence of climate on the function of external respiration of the healthy population of Vladivostok and patients with bronchopulmonary pathology // Hygiene and Sanitation, 2018. – No. 97 (5). – Pp. 418-423.
3. Medik V.A. Population morbidity. History, current state and study methodology. – Moscow: Knorus, 2023. – 526 p.
4. Karkach A.S., Romanyukha A.A. Modern approaches to the analysis and forecasting of population health using mathematical models // Mathematical methods of forecasting, 2014. – No. 1. – Pp. 38-47.

5. Kulak A.G. Statistical assessment and comparative analysis of population health in the regions // Application of mathematics in economic and theoretical research, 2016. – No. 1 (6). – Pp. 79-88.
6. Kondratyev M.A. Methods of forecasting and models of the spread of diseases // Computer research and modeling, 2013. – Vol. 5. – No. 5. – Pp. 863-882.
7. Baluta V.I., Osipov V.P., Sivakova T.V. Technology of complex modeling of the epidemiological situation // Scientific service on the Internet: proceedings of the XXII All-Russian scientific conference (September 21-25, 2020, online). – Moscow: IPM im. M.V. Keldysh, 2020. – Pp. 68-79.
8. Shchepin V.O., Zagoruychenko A.A., Karpova O.B. Methodological foundations for forecasting the spread of diseases in the world (review) // Healthcare Manager. 2022; 9: 51-58. DOI: 10.21045/1811-0185-2022-9-51-58.
9. Tokmachev M.S. Statistical forecast of regional population health based on mathematical and computer modeling // Bulletin of the Yaroslav the Wise Novgorod State University. – 2010. – No. 6. – Pp. 56-61.
10. B.J.J. Mccormick, W.J. Alonso and M.A. Miller (2012) An exploration of spatial patterns of seasonal diarrhoeal morbidity in Thailand. Epidemiology & Infection, Volume 140, Issue 7, July 2012, pp. 1236-1243.
11. Tsinker M.Yu., Kiryanov D.A., Klein S.V. Statistical modeling for assessing the impact of environmental factors on health indicators of the population of the Russian Federation / Population health and environment. – 2013. – No. 11. – Pp. 10-13.
12. Altizer, S., Ostfeld, R.S., Johnson, P.T.J., Kutz, S., & Harvell, C.D. (2013). Climate Change and Infectious Diseases: From Evidence to a Predictive Framework. Science, 341 (6145), 514-519. https://doi.org/10.1126/science.1239401.
13. Hondula D.M., Barnett A.G. (2014). Heat-related morbidity in Brisbane, Australia: spatial variation and area-level predictors. Environ Health Perspect 122: 831-836; https://doi.org/10.1289/ehp.1307496.
14. Chistik O.F. Statistical approach to the study of morbidity of the population of Russia // Intellect. Innovation. Investments, 2018. – No. 7. – Pp. 4-11.
15. Dave Eleojo Ekpa, Eunice A. Salubi, Johnson Adedeji Olusola, Dare Akintade (2023) Spatio-temporal analysis of environmental and climatic factors impacts on malaria morbidity in Ondo State, Nigeria. Research Article Volume 9, Issue 3, e14005March 2023: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.

Халық денсаулығының сызықтық-корреляциялық моделі (Қазақстан Республикасының Қызылорда облысының мысалында)

[1]МҰСТАФАЕВА Мінайым Батырқызы, *докторант, mminayim00@mail.ru,*
[2]*МҰСТАФАЕВ Жұмахан Сулейменович, *т.ғ.д., профессор, z-mustafa@rambler.ru,*
[1]«Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Тәуке хан даңғылы, 5, Шымкент, Қазақстан,
[2]«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Пушкин көшесі, 99, Алматы, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Қазақстан Республикасының Қызылорда облысының жағдайында табиғаты пайдалану жүйесіндегі антропогендік қызметтің өсуі мен дамуы кезеңіндегі халық денсаулығының себеп-салдарлық байланыстарын кешенді бағалау үшін, ұзақ мерзімді статистикалық деректерге негізделген сызықтық математикалық модельдерді пайдалану арқылы, аурушаңдықтың алдын алуға және төмендетуге, медициналық-санитарлық жағдайды жақсартуға бағытталған шаралардың негізділігін арттыруға қол жеткізу мүмкіншіліктері қарастырылған. Жұмыстың мақсаты – халық денсаулығын кеңістіктік және уақыттық аралықта зерттеуге, интегралды медициналық-демографиялық көрсеткіштің көрінісі ретінде сызықтық-корреляциялық модельдің мүмкіндіктерін теориялық тұрғыдан көрсету. Жұмыста халық денсаулығының беталысын модельдеуге және анықтауға мүмкіндік беретін, жүйелік талдау және математикалық статистикасының әдістемесі, уақытша қатарды талдауға негізіделген сызбалық көрсету әдістері қолданылған. Олардың негізінде болжамдық және өткенді шолуға арналған есептеулердің дәлдігін арттыру үшін, кейбір жағдайда белгісіз және ықтималды жағдайларды сипатайтын медициналық-демографиялық көрсеткіштер*

туралы статистикалық деректерді пайдалану арқылы, бір параметрлі модельдер әзірленген. Қызылорда облысының әкімшілік аудандарының деңгейінде және сырқаттанушылық түрлері бойынша, оның медициналық-демографиялық жағдайын сипаттауға арналып құрылған деректер қорына негізделіп әзірленген сызықтық-корреляциялық модельдер, осы процестің дамуының нәтижелері туралы жалпы түсінік алуға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: *тұрғындар, аурушаңдық, зерттеу қоры, әдістері, талдау, бағалау, өзгеру бағыты, сызықтық корреляциялық моделі.*

Линейно-корреляционная модель здоровья населения (на примере Кызылординской области Республики Казахстан)

[1]МУСТАФАЕВА Минайым Батыркызы, *докторант, mminayim00@mail.ru,*
[2]*МУСТАФАЕВ Жумахан Сулейменович, *д.т.н., профессор, z-mustafa@rambler.ru,*
[1]НАО «Южно-Казахстанский университет имени Мухтара Ауэзова», пр. Тауке хана, 5, Шымкент, Казахстан,
[2]АО «Институт географии и водной безопасности», ул. Пушкина, 99, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Комплексная оценка причинно-следственных связей здоровья населения Кызылординской области Республики Казахстан в условиях роста и развития антропогенной деятельности в системе природопользования с использованием линейных математических моделей, базирующихся на многолетних статистических данных, которая дает возможность повысить обоснованность мер, направленных на профилактику и снижение заболеваемости, улучшение медико-санитарной обстановки области. Цель исследования – изучить здоровье населения в пространственных и временных аспектах для теоретической демонстрации возможностей линейно-корреляционной модели, как отражение интегрального медико-демографического показателя. В работе использованы методы системного анализа и математической статистики, анализ временных рядов, позволяющих смоделировать и выявить тенденции изменения в здоровье населения с использованием графических методов представления. На их основе для повышения точности прогнозных и ретроспективных расчетов разработаны однопараметрические модели на базе статистических данных медико-демографических показателей, в значительной мере носящих неопределенный и вероятностный характер. Разработанная линейно-корреляционная модель заболеваемости на основе созданного банка данных, характеризующих медико-демографическую ситуацию в Кызылординской области в разрезе административных районов и по видам заболеваемости, позволяет получить обобщенное представление о результатах развития этого процесса.*

Ключевые слова: *население, заболеваемость, база исследования, методы, анализ, оценка, тренд, линейно-корреляционная модель.*

REFERENCES

1. Lazerova N.V. Correlation of the dynamics of population morbidity depending on the influence of environmental factors // Karelian Scientific Journal, 2015. – No. 4 (13). – Pp. 87-89.
2. Veremchuk L.V., Mineeva E.E., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A. The influence of climate on the function of external respiration of the healthy population of Vladivostok and patients with bronchopulmonary pathology // Hygiene and Sanitation, 2018. – No. 97 (5). – Pp. 418-423.
3. Medik V.A. Population morbidity. History, current state and study methodology. – Moscow: Knorus, 2023. – 526 p.
4. Karkach A.S., Romanyukha A.A. Modern approaches to the analysis and forecasting of population health using mathematical models // Mathematical methods of forecasting, 2014. – No. 1. – Pp. 38-47.
5. Kulak A.G. Statistical assessment and comparative analysis of population health in the regions // Application of mathematics in economic and theoretical research, 2016. – No. 1 (6). – Pp. 79-88.
6. Kondratyev M.A. Methods of forecasting and models of the spread of diseases // Computer research and modeling, 2013. – Vol. 5. – No. 5. – Pp. 863-882.
7. Baluta V.I., Osipov V.P., Sivakova T.V. Technology of complex modeling of the epidemiological situation // Scientific service on the Internet: proceedings of the XXII All-Russian scientific conference (September 21-25, 2020, online). – Moscow: IPM im. M.V. Keldysh, 2020. – Pp. 68-79.
8. Shchepin V.O., Zagoruychenko A.A., Karpova O.B. Methodological foundations for forecasting the spread of diseases in the world (review) // Healthcare Manager. 2022; 9: 51-58. DOI: 10.21045/1811-0185-2022-9-51-58.
9. Tokmachev M.S. Statistical forecast of regional population health based on mathematical and computer modeling // Bulletin of the Yaroslav the Wise Novgorod State University. – 2010. – No. 6. – Pp. 56-61.
10. B.J.J. Mccormick, W.J. Alonso and M.A. Miller (2012) An exploration of spatial patterns of seasonal diarrhoeal morbidity in Thailand. Epidemiology & Infection, Volume 140, Issue 7, July 2012, pp. 1236-1243.
11. Tsinker M.Yu., Kiryanov D.A., Klein S.V. Statistical modeling for assessing the impact of environmental factors on health indicators of the population of the Russian Federation / Population health and environment. – 2013. – No. 11. – Pp. 10-13.
12. Altizer, S., Ostfeld, R.S., Johnson, P.T.J., Kutz, S., & Harvell, C.D. (2013). Climate Change and Infectious Diseases: From Evidence to a Predictive Framework. Science, 341 (6145), 514-519. https://doi.org/10.1126/science.1239401.
13. Hondula D.M., Barnett A.G. (2014). Heat-related morbidity in Brisbane, Australia: spatial variation and area-level predictors. Environ Health Perspect 122: 831-836; https://doi.org/10.1289/ehp.1307496.
14. Chistik O.F. Statistical approach to the study of morbidity of the population of Russia // Intellect. Innovation. Investments, 2018. – No. 7. – Pp. 4-11.
15. Dave Eleojo Ekpa, Eunice A. Salubi, Johnson Adedeji Olusola, Dare Akintade (2023) Spatio-temporal analysis of environmental and climatic factors impacts on malaria morbidity in Ondo State, Nigeria. Research Article Volume 9, Issue 3, e14005March 2023: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_133 UDC 553.08

Analyzing the Capabilities of the Transient Process Method in Prospecting and Studying Groundwater

PONOMAREVA Marina, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, mv_ponomareva18@mail.ru,*
NANKOV Sergey, *Master's Student, snankov@mail.ru,*
****PONOMAREVA Yekaterina,*** *PhD, Acting Associate Professor, sea_kitten_1@mail.ru,*
BILIMOVA Indira, *Doctoral Student, blimovaindira@mail.ru,*
NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The construction of a mining and processing plant is planned on the basis of the Bala-Sauskandyk vanadium deposit. Industrial water is required for technological processes such as equipment cooling and steam production, transportation and washing of raw materials and products, as well as for auxiliary needs. Currently, the search and exploration of groundwater is mainly carried out by geophysical methods; in this regard, the analysis of the capabilities of the transient process method is an urgent task. The purpose of the research is to identify faults, fracturing and crushing zones, to determine the depth of open fracturing zones in the area of the Bala-Sauskandyk deposit using the transient process method. Based on the research data, geoelectric sections and contour maps of apparent specific electrical resistance were constructed and analyzed at four sites. Analyzing the apparent resistance field made it possible to identify a number of local anomalies of low resistance values corresponding to flooded zones. Studies with the use of the transient process method ensure the development of a structural and material basis for a model of the geological structure of the territory for prospecting and studying groundwater deposits.*

Keywords: *groundwater, geophysical methods, electrical exploration, transient process method, faults, fracture zones, Bala-Sauskandyk deposit, weathering crust, apparent electrical resistivity, anomaly, geoelectric section, contour map.*

Introduction

Groundwater is one of the main sources of water supply and is a valuable natural resource. Water for technical purposes is needed for water supply of shift camps, mining and processing plants and the other mining infrastructure facilities. Among all the geophysical methods, electrical and electromagnetic methods are the most popular in groundwater exploration due to the close relationship between electrical conductivity and some hydrogeological properties of the aquifer (porosity, clay content, groundwater mineralization and degree of water saturation) [1].

The transient process method is used to identify the main aquifers within basins identified at the stage of regional studies [2].

The Bala-Sauskandyk deposit is located in the Kyzylorda region, 60 km northeast of the village of Shieli.

The area of work is composed of volcanogenic-sedimentary-metamorphic rock complexes. The general strike of the structures is northwestern. The central part of the area is composed of deposits of the Kainar formation of the Upper Proterozoic PR2kn. The formation is composed of metamorphosed conglomerates, sandstones, shales, limestones, keratophyres, orthophyres, quartz porphyries, andesite and diabase porphyrites, tuffs.

The southwestern part of the area is composed of Cambrian deposits. In the northeastern part of the area, there are outcrops of Upper Cretaceous deposits (sandstones, siltstones, gravelites). The northern fragment of the study area is covered by Neogene deposits (clays, sands, gravelstones). The river valley in the northern part of the site is composed of Upper Quaternary deposits: sands and loams with inclusions of crushed stone [3].

The conditions of the groundwater accumulation, their circulation and resources in the study area are determined by its climatic, orographic and geological-lithological features. At the same time, the features determine possible resources of groundwater and conditions of their manifestation on the daylight surface, and the geological structure of the area, its structure, lithology of the rocks containing groundwater, their fracturing or porosity, determine the distribution of groundwater resources among various geological complexes and conditions of their movement.

Proterozoic rocks are represented by strongly dislocated fractured acidic and basic effusives, and to a lesser extent, there are also strongly fractured massifs of marbled limestones. In these rocks, fracturing, regardless of the nature of the strata, determines conditions for the accumulation and movement of groundwater, therefore, fissure waters develop here. Paleozoic rocks of the region constitute a group of rocks, the relationship of which to water is determined not only by the degree and nature of fracturing but also by the conditions of stratification.

The difficulty of distinguishing these horizons of different ages without violating the stratigraphic principle of classifying groundwater in the region, makes it possible to distinguish in this large group of Paleozoic rocks the fractured and fractured-stratal type of groundwater. The main leading moment in the conditions of the groundwater existence in these rocks is the degree and nature of fracturing; stratification of rocks is of secondary importance for individual horizons of Paleozoic rocks.

A separate group includes loose quaternary accumulations, the circulation of underground waters in which depends on the porosity of various lithological differences of these rocks. In these rocks, a pore type of water is distinguished [3].

Research methods

At the initial stage of the research, magnetic and micromagnetic exploration was carried out using MMPOS-1 proton Overhauser magnetometers with a GPS option, as a result of which five promising areas were identified [4].

Electrical exploration work using the transient process method (TPM) was carried out within four areas of the micromagnetic survey, taking into account interpretation of the anomalous magnetic field, using the TSIKL-8 equipment.

At all the areas, measurements were performed using the «sensor in a loop» measurement technique. The studies were carried out using a generator square loop with a side of 50 m and a PDI-100 sensor (receiving induction sensor was an equivalent of a receiving loop 100×100 m), the measurement network was 50×25 m. The current in the generator loop was 6,0-6,5 amperes, the pulse duration was 100 milliseconds, the final measurement time was 30 milliseconds, and the number of signal accumulation cycles was 200/300 [3].

Measurements were performed with the current in the power line turned off. At least 3 repeated measurements were taken at each point to exclude substandard data. The cover of the studies was 0,24 square kilometers at four sites (2, 3, 4, 5, Figure 1), 95 generator loops 50×50 m and 190 observations by the PDI-100 sensor.

Processing and interpreting the data of the transient process method was performed using specialized programs «PROBA 9» and «PODBOR 5» [5].

Primary processing of geophysical data included the following operations: visual review of measured EMF values; verification of field materials before final processing; construction of maps of actual electrical exploration material using the transient process method.

Final processing and interpreting of the data included the following operations: data processing in the PROBAB 9 and SELECTION 5 programs; construction of maps of the specific electrical resistance distribution (Rotau transformation) at different time levels; construction of geoelectric sections (Rotau) along profiles; analysis of the capabilities of the transient process method in prospecting and studying groundwater.

Research results

Based on the results of geophysical data processing, calculations of apparent electrical resistance (Rotau values) were performed in four sites (2, 3, 4, 5); horizon plans and geoelectric sections along profile lines were constructed.

The geoelectric section of site 2 is characterized by Rotau values of 20-70 Ohm. The low level of Rotau values is caused not only by loose sediments but also by the weathering crust (possibly a fracture zone) of basement rocks, with the thickness of up to 100 m. The upper part of the southern fragment of the section is characterized by increased Rotau values of 80-150 Ohm, which is dcaused by slightly altered basement rocks.

On the 0.3 ms iso-ohm map corresponding to conditionally near-surface formations (20-40 m), a contrasting Rotau anomaly of northwest strike with the intensity of 10-30 Ohm was revealed in the center of the site; on the 0,8 ms iso-ohm map corresponding to formations at the depths of 60-90 m, its dimensions along the 20 Ohm iso-line are ~220×80 m, Figure 2. The lower edge of the area of low Rotau values in the center of the site is 80-

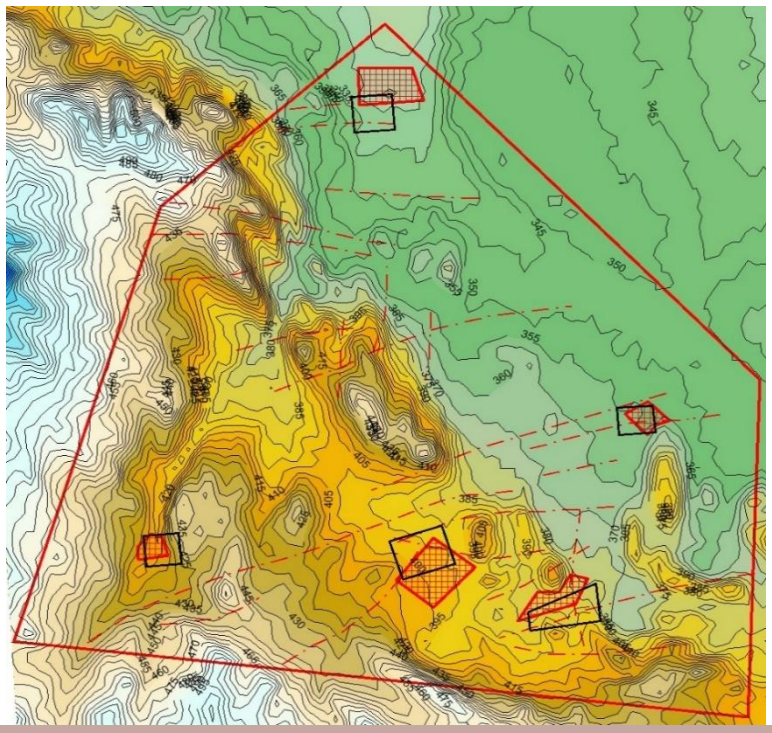


Figure 1 – Layout of the sites (forecasted and actual)

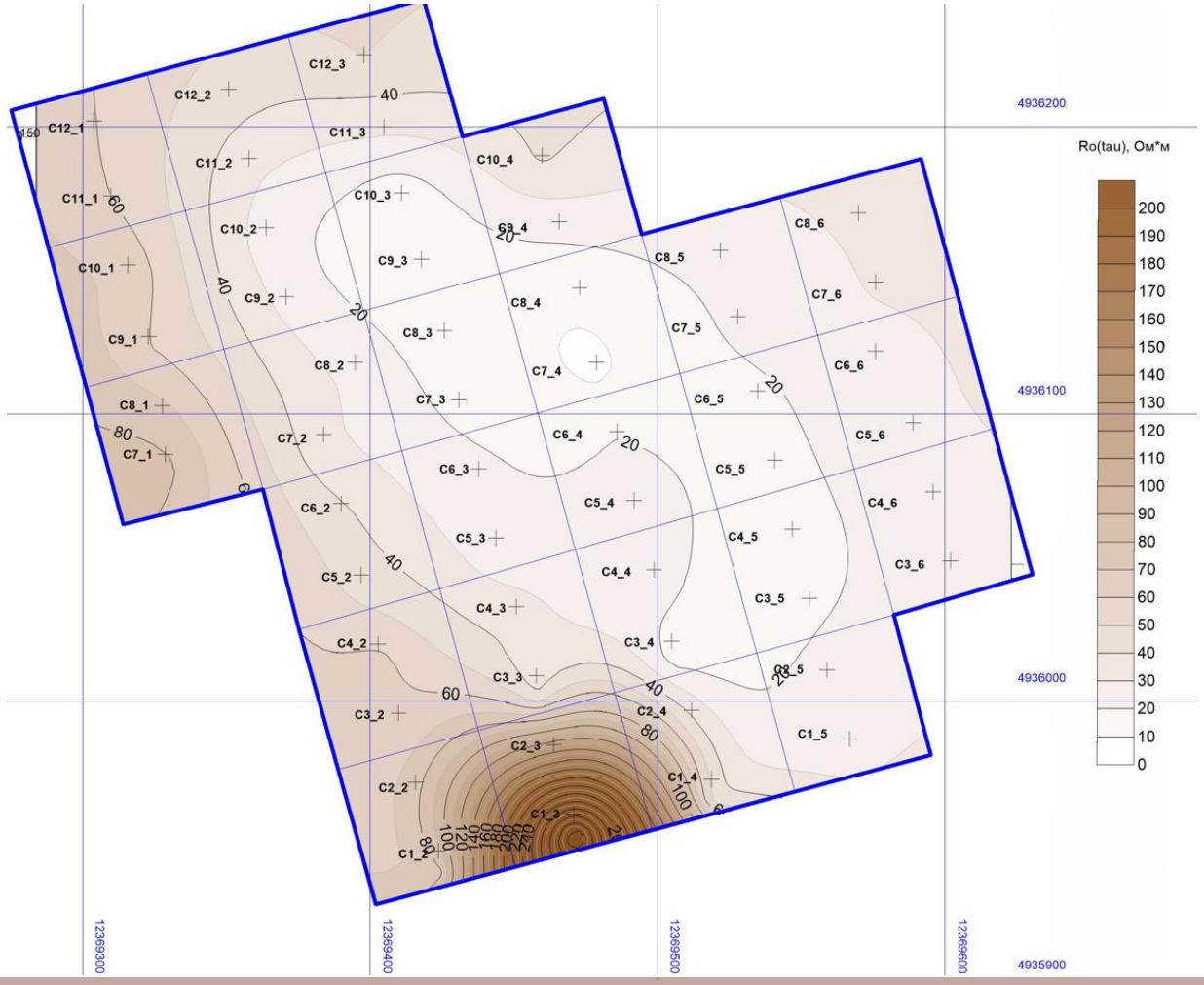


Figure 2 – Rotau iso-ohm maps at 0.8 ms. Site 2

100 m. The nature of this Rotau anomaly corresponds to waterlogged rocks in the fracture zone (the weathering crust of the rubble type). The depth of the upper edge of the low-value anomaly is 20-40 m.

The geoelectric section of site 3 is characterized by Rotau values from 120 Ohm to 500 Ohm, which is caused by Proterozoic volcanogenic formations. The upper part of the site is characterized by low Rotau values of 90-120 Ohm, which is caused by loose sediments and the weathering crust of the basement rocks. In the northern part of the site, at the depths of ~100-120 m, an area of Rotau values of 110-150 Ohm was identified that corresponds to waterlogged fracture zones. In the central part of the site, at the depths of ~40-70 m to 120 m, an area of Rotau values of 40-60 Ohm was identified. This anomaly corresponds to the zone of waterlogged rocks. The lower part of the site, down to the depth of 100 m, is characterized by low Rotau values of 80-120 Ohm, which is due to the zone of fracturing (partially waterlogged) of the basement rocks.

On the 0,5 ms iso-ohm map that conventionally corresponds to the depths of 40-60 m, in the eastern part of site 3, the Rotau anomaly was revealed, with the intensity of 60-80 Ohm m against the background of 100-120 Ohm, Figure 3. The upper edge of the anomalous objects is ~40-50 m. The lower edge of the Rotau anomalous zone is 70-100 m. The nature of this Rotau anomaly most likely corresponds to waterlogged rocks in fracture zones.

The geoelectric section of site 4 is for the most part characterized by Rotau values from 140 Ohm to 440 Ohm, which is due to volcanogenic formations of the Proterozoic. The upper part of the section is characterized by low Rotau values of 50-120 Omm, which is due to loose sediments and the weathering crust of the basement rocks.

On the 0.8 ms iso-ohm map that conventionally corresponds to the depths of ~70-90 m, three local Rotau anomalies with the intensity of 160-180 Ohm-mm were identified in the southwestern and northwestern parts of the site. The upper edge of the anomalous objects is ~60-80 m. The lower edge of the anomalous Rotau zones is 100-120 m. The nature of these Rotau anomalies most likely corresponds to waterlogged rocks in fracture zones, Figure 4.

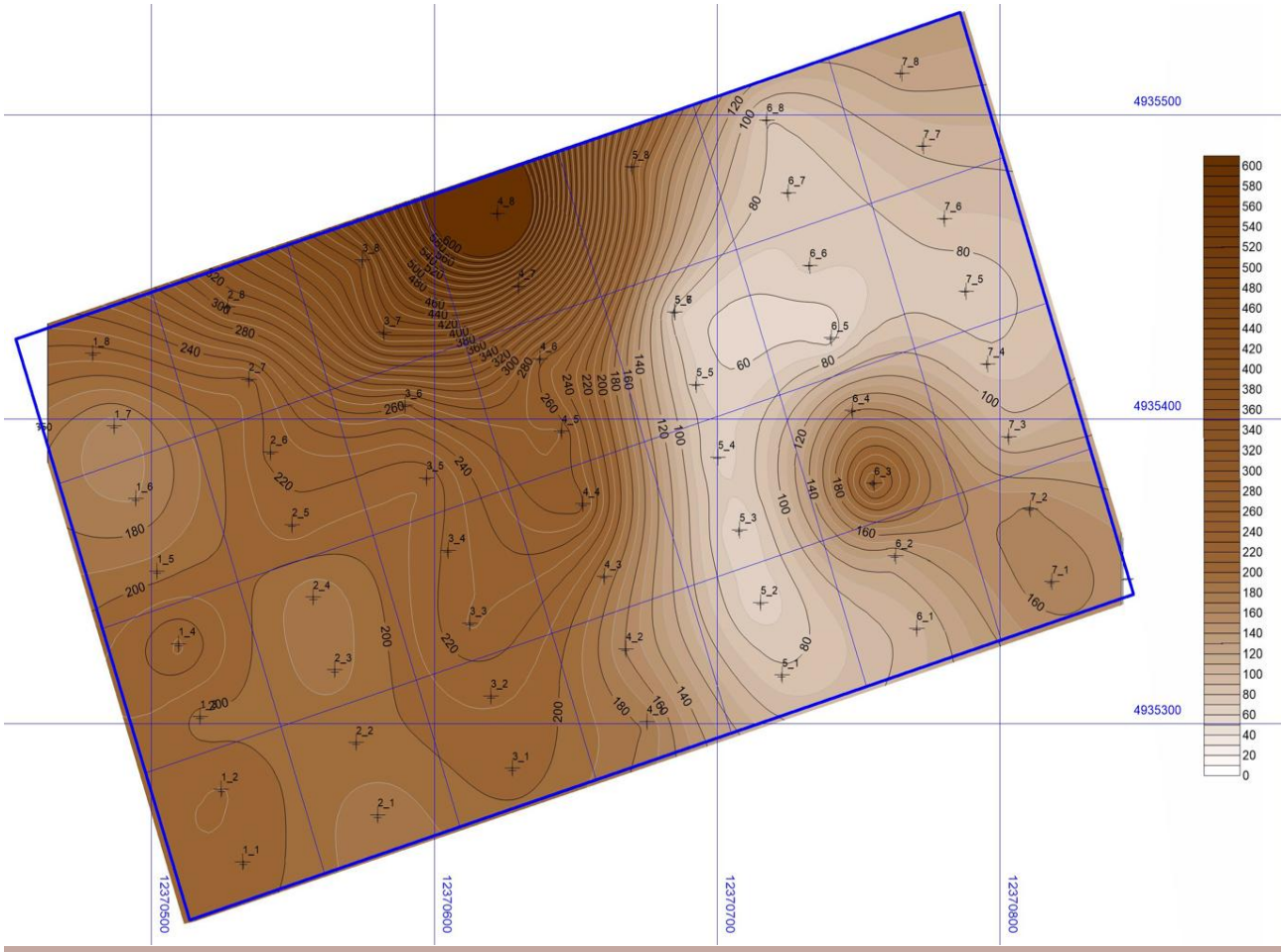


Figure 3 – Rotau iso-ohm map at 0.5 ms. Site 3

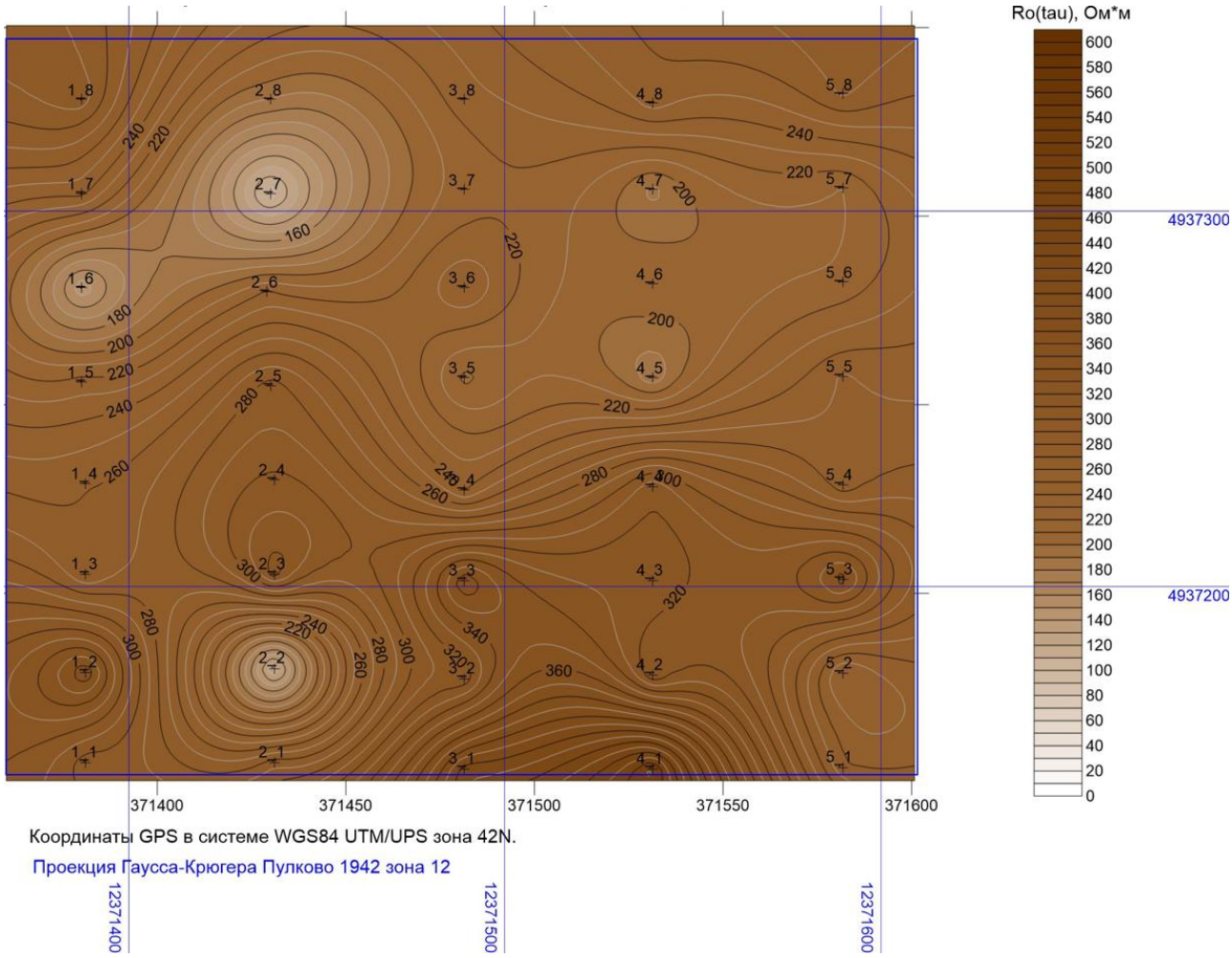


Figure 4 – Rotau iso-ohm map at 0.8 ms. Site 4

The upper, near-surface part of the geoelectric section of site 5, with the thickness from 2-4 m to 10-14 m, is characterized by low Rotau values from 10-30 Ohm to 60-80 Ohm. The central (main) part is characterized by Rotau values from 40-90 Ohm to 130-170 Ohm. These Rotau areas correspond to the bedrock of the crystalline basement. A pattern of decreasing Rotau values in the northern part of the site was revealed. The third horizon of low Rotau values from 10-30 Ohm to 60-80 Ohm was revealed at the depths from 50 m to 200 m and corresponds to waterlogged basement rocks.

On the 0,8 ms iso-ohm map that conventionally corresponds to the depths of 70-90 m, a tendency for the Rotau values to decrease from 120-130 Ohm in the southwestern corner of site 5, to 50-60 Ohm in the northeastern corner, was revealed, Figure 5.

Conclusions

The studies with the use of the transient process method provide the development of a structural and material basis for the model of the geological structure of the territory for prospecting and studying underground water deposits.

Based on the results of electrical exploration using the transient process method, a number of areas (anomalous zones) of low values of apparent electrical resistance (Rotau values) were identified in the territory under study that can be characterized as steeply dipping zones of crushing and fracturing, as well as gently sloping crusts of weathering of the rubble type. The identified anomalies of low values of apparent electrical resistance can be flooded zones and be of industrial interest as sources of underground water.

The transient electromagnetic (TEM) method, also known as the transient process method, has found wide application in studying the hydrogeological conditions of open-pit mines. It enables the determination of the deposit structure, identification of aquifer boundaries, fractured zones, and impermeable layers near the pit; delineation of zones with different permeability and mapping of pit contours; as-

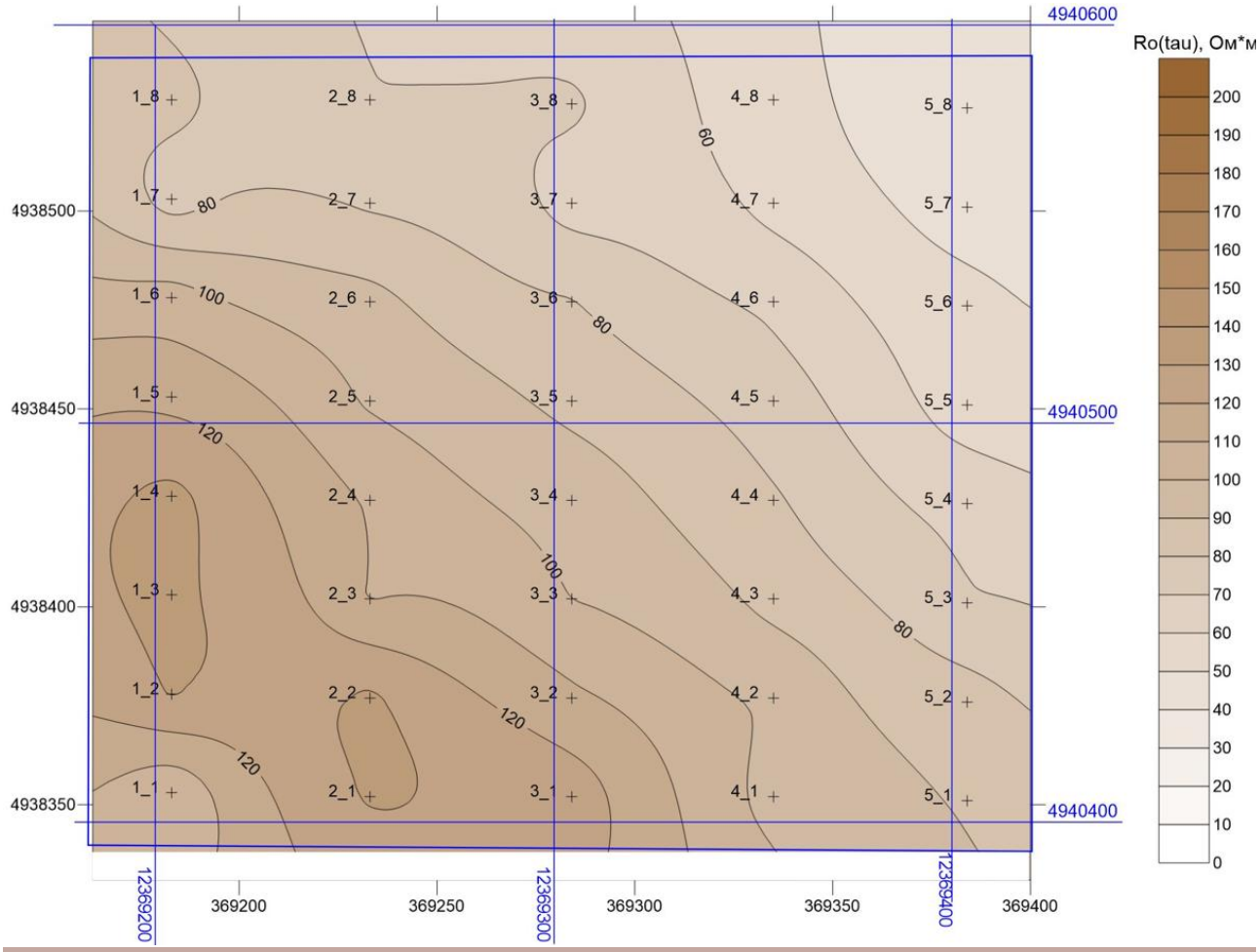


Figure 5 – Rotau contour map at 0.8 ms. Site 5

sessment of the degree of saturation and permeability of rocks within the excavation zone (working face); and monitoring of water infiltration into mine workings, which is important for pit design and operation. The method can also be used to search for and evaluate groundwater reserves within or near the pit contour. It is applicable for studying the hydrogeological conditions of large operating open-pit mines in Central Kazakhstan, including the Zhairem, Nikolsky, and Atasu pits.

REFERENCES

1. Lazurchenko A.V., Shoikhonova T.S., Shkirya M.S., Belova A.Yu., Tereshkin S.A. Otsenka vozmozhnosti poiska podzemnykh vod metodom elektrotomografii po dannym chislennogo modelirovaniya v usloviyakh, oslozhnennykh mnogoletnemerzlymi porodami (na primere territorii vostochnoi chasti Respubliki Buryatiya). Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2024, Vol. 335, No. 7, pp. 81-95.
2. Shaaban Kh.M., Ghazala Kh., El-Sayed E., El-Kadi G. Primenenie elektromagnitnogo metoda perekhodnykh protsessov dlya poiskov neglubokikh zalezhei podzemnykh vod v raione goroda Itai El-Barud, delta Nila (Egipet). Zapiski Gornogo instituta. Vol. 212, Saint Petersburg, 2015, pp. 135-140.
3. Otchet o vypolnenii geofizicheskikh ploshadnykh issledovanii na poiski podzemnykh vod v raione

mestorozhdeniya Bala-Sauskandyk v Shielinskom raione Kyzylordinskoi oblasti. TOO «ITsETI», Ust-Kamenogorsk, 2023, 38 p.
4. Magnitometry POS-1,2. Rukovodstvo po ekspluatatsii. FGAOU VO Uralskii federalnyi universitet imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. Eltsina, Laboratoriya kvantovoi magnitometrii, Ekaterinburg, 2020, 38 p.
5. Mogilatov V.S., Zakharkin A.K., Zlobinskii A.V. Matematicheskoe obespechenie elektrorazvedki ZSB. Sistema «Podbor». Izd-vo «SO RAN TEO», Novosibirsk, 2007, 156 p.

Жерасты суларын іздеу және зерттеудегі өтпелі процесс әдісінің мүмкіндіктерін талдау

ПОНОМАРЕВА Марина Викторовна, *т.ғ.к., доцент, mv_ponomareva18@mail.ru,*
НАНКОВ Сергей Николаевич, *магистрант, snankov@mail.ru,*
****ПОНОМАРЕВА Екатерина Вадимовна,*** *PhD, доцент м.а., sea_kitten_1@mail.ru,*
БІЛІМОВА Индира Сәкенқызы, *докторант, blimovaindira@mail.ru,*
«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,

**автор-корреспондент.*

Андатпа. *Бала-Сауыскандық ванадий кен орны негізінде кен-байыту комбинаты құрылысы жобалануда. Жабдықты салқындату және бу өндіру, шикізат пен өнімдерді тасымалдау және жуу сияқты технологиялық процестерге, сонымен қатар қосалқы қажеттіліктерге техникалық су қажет. Қазіргі уақытта жер асты суларын іздеу және барлау негізінен геофизикалық әдістермен жүргізіледі, осыған байланысты өтпелі процесс әдісінің мүмкіндіктерін талдау кезек күттірмейтін мәселе болып табылады. Зерттеудің мақсаты – өтпелі процесс әдісін қолдана отырып, Бала-Сауысқандық кен орны аймағындағы бұзылуларды, жарықшақтық және қирау аймақтарын анықтау, ашық жарықшақтық аймақтарының тереңдігін анықтау. Зерттеу деректері негізінде төрт учаскеде геоэлектрлік қималар мен көрінетін меншікті электр кедергісінің контурлық карталары тұрғызылды және талданды. Көрінетін қарсылық өрісін талдау су басқан аймақтарға сәйкес келетін төмен қарсылық мәндерінің бірқатар жергілікті ауытқуларын анықтауға мүмкіндік берді. Өтпелі процесс әдісін қолданатын зерттеулер жер асты суларының кен орындарын іздеу және зерттеу үшін аумақтың геологиялық құрылымының моделінің құрылымдық-материалдық негізін құруды қамтамасыз етеді.*

Кілт сөздер: *жерасты сулар, геофизикалық әдістер, электрлік барлау, өтпелі процесс әдісі, ақаулар, жарықшақтық аймақтары, Бала-Сауысқандық кен орны, мору қабығы, көрінетін электр кедергісі, аномалия, геоэлектрлік қима, изосызық картасы.*

Анализ возможностей метода переходных процессов при поисках и изучении подземных вод

ПОНОМАРЕВА Марина Викторовна, *к.т.н., доцент, mv_ponomareva18@mail.ru,*
НАНКОВ Сергей Николаевич, *магистрант, snankov@mail.ru,*
****ПОНОМАРЕВА Екатерина Вадимовна,*** *PhD, и.о. доцента, sea_kitten_1@mail.ru,*
БІЛІМОВА Индира Сәкенқызы, *докторант, blimovaindira@mail.ru,*
НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,

**автор-корреспондент.*

Аннотация. *На базе Бала-Саускандыкского ванадиевого месторождения планируется строительство горно-обогатительного комбината. Для технологических процессов, таких как охлаждение оборудования и производство пара, транспортировка и промывка сырья и продукции, а также для вспомогательных нужд необходима техническая вода. В настоящее время поиск и разведка подземных вод осуществляются преимущественно геофи-*

зическими методами, в связи с этим анализ возможностей метода переходных процессов является актуальной задачей. Целью исследований является выявление разломов, зон трещиноватости и дробления, определение глубин залегания зон открытой трещиноватости в районе месторождения Бала-Саускандык методом переходных процессов. По данным исследований на четырех участках построены и проанализированы геоэлектрические разрезы и карты изолиний кажущегося удельного электрического сопротивления. Анализ поля кажущегося сопротивления позволил выделить ряд локальных аномалий низких значений сопротивления, соответствующих зонам обводнения. Исследования методом переходных процессов обеспечивает создание структурно-вещественной основы модели геологического строения территории для поисков и изучения залежей подземных вод.

Ключевые слова: *подземные воды, геофизические методы, электроразведка, метод переходных процессов, разломы, зоны трещиноватости, месторождение Бала-Саускандык, кора выветривания, кажущееся удельное электрическое сопротивление, аномалия, геоэлектрический разрез, карта изолиний.*

REFERENCES

1. Lazurchenko A.V., Shoikhonova T.S., Shkirya M.S., Belova A.Yu., Tereshkin S.A. Otsenka vozmozhnosti poiska podzemnykh vod metodom elektrotomografii po dannym chislennogo modelirovaniya v usloviyakh, oslozhnennykh mnogoletnemerzlymi porodami (na primere territorii vostochnoi chasti Respubliki Buryatiya). Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2024, Vol. 335, No. 7, pp. 81-95.
2. Shaaban Kh.M., Ghazala Kh., El-Sayed E., El-Kadi G. Primenenie elektromagnitnogo metoda perekhodnykh protsessov dlya poiskov neglubokikh zalezhei podzemnykh vod v raione goroda Itai El-Barud, delta Nila (Egipet). Zapiski Gornogo instituta. Vol. 212, Saint Petersburg, 2015, pp. 135-140.
3. Otchet o vypolnenii geofizicheskikh ploshadnykh issledovanii na poiski podzemnykh vod v raione mestorozhdeniya Bala-Sauskandyk v Shielinskom raione Kyzylordinskoi oblasti. TOO «ITsETI», Ust-Kamenogorsk, 2023, 38 p.
4. Magnitometry POS-1,2. Rukovodstvo po ekspluatatsii. FGAOU VO Uralskii federalnyi universitet imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. Eltsina, Laboratoriya kvantovoi magnitometrii, Ekaterinburg, 2020, 38 p.
5. Mogilatov V.S., Zakharkin A.K., Zlobinskii A.V. Matematicheskoe obespechenie elektrorazvedki ZSB. Sistema «Podbor». Izd-vo «SO RAN TEO», Novosibirsk, 2007, 156 p.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_141 UDC 622.831.325

Soil Heaving in Coal Mines: Causes and Mechanisms of Development

[1]***SADCHIKOV Alexander,*** *Cand. of Tech. Sc., Senior Lecturer, a.sadchikov@ktu.edu.kz,*
[2]****NEMOVA Natalia,*** *Cand. of Tech. Sc., Senior Researcher, nemova-nayaly@mail.ru,*
[1]***ISSINA Nazym,*** *Master's Student, nazym.issina@gmail.com,*
[1]***SHULEPIN Andrey,*** *Student, shulepin_an@mail.ru,*
[1]***DZITIYEV Aslambek,*** *Student, dzt.asl@gmail.com,*
[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Institute of Mining named after N.A. Chinakal, SB RAS, 54 Red Avenue, Novosibirsk, Russia,
**corresponding author.*

Abstract. *Floor heave in coal mines is a multifaceted problem caused by a combination of mineralogical, hydrogeological, and geomechanical factors. The article examines the causes of this phenomenon, detailed mechanisms (swelling of smectite clays, plastic flow, bending and buckling of the floor), the influence of mining depth and rock pressure, as well as the associated economic and production consequences. Particular attention is paid to water saturation conditions and changes in the stress state of the rock mass. Practical methods for diagnosing floor heave, engineering approaches to its prediction and control are presented. Characteristic examples of floor heave manifestations in mine workings are given, and recommendations are provided for numerical modeling, selection of support parameters, and improvement of roadway stability. The impact of floor heave on the safety of mining operations is also considered.*

Keywords: *soil heaving, swelling, smectite, plastic extrusion, lining, geomechanics.*

Introduction

Ground heave (or floor heave, or squeezing ground) is the uplifting or bulging of rock within a mine working, leading to reduced access, damage to support and equipment, and increased operating costs. In deep mining environments, the problem is exacerbated by increased rock pressure and changes in hydrogeological conditions. Practical interest in this problem stems not only from operational safety considerations but also from economic considerations: approximately 15–25% of operating costs in some mines are associated with maintaining working stability and combating deformation.

Mechanism of swelling of rocks

Soil heaving (swelling) in coal mines is a serious problem caused by a combination of geomechanical and physicochemical factors.

The main materials and research on this topic cover the causes of the phenomenon, the mechanisms of its development and control methods [1].

The causes of soil heaving can be varied [1-3].

The main factors contributing to soil heaving in mine workings are:

- Presence of expansive clay minerals: subsoil clays often contain minerals of the smectite group, in particular montmorillonite, which are highly hygroscopic and significantly increase in volume upon contact with water (hydration swelling);
- High stress in the mountain range: redistribution of vertical and especially horizontal stresses after the construction of workings leads to the extrusion of soil rocks into the working space (plastic flow);
- Waterlogging of rocks: Water penetration from aquifers or technological processes reduces the strength and modulus of deformation of mudstones and shales, making them more susceptible to heaving.
- Geological conditions: these include the thickness and strength of the underlying rock layers, the presence of cracks, faults, and the depth of the coal seam [4-5].

The main mineralogical factor contributing to swelling is the smectite group of minerals (including montmorillonite). These minerals have a layered structure and the ability to bind water molecules in the interlayer spaces, causing a significant increase in volume upon wetting and a sharp decrease in strength upon

saturation. Studies of montmorillonite images demonstrate a typical folded porous structure, which explains the high hygroscopicity and increasing deformation flexibility of the rocks upon wetting.

The presence of ions (Na^+, Ca^{2+}, etc.) in water affects the degree of rock swelling. Changes in the chemical composition of water (due to the opening of aquifers or industrial wastewater) can intensify swelling processes.

Flooding occurs when aquifers are exposed, water seeps through cracks, or as a result of technological operations (water drainage, flushing). Water reduces the effective strength of mudstones and shales and creates conditions for hydration swelling of smectites. The transition from a dry to a saturated state can be accompanied by a sharp increase in deformation and accelerated plastic flow.

After excavation, vertical and especially horizontal stresses are redistributed within the rock mass. If the marginal rock mass and underlying rocks are insufficiently strong, the material may deform plastically and be "squeezed" into the excavation. This manifests itself as a gradual uplift of the excavation floor and lateral deformation of the support structure.

As mining depth increases, the overall geostatic pressure and the role of shear (horizontal) stresses increase. High horizontal stresses can cause bending and buckling of relatively layered and rigid horizons, leading to localized heaving and damage to the lining.

Mechanisms of soil heaving development

Hydration swelling (swelling) the primary physicochemical mechanism is water penetrating the interlayer spaces of smectite minerals – the interlayer water causes an increase in particle volume. At the macro level, this is expressed in uplifts, crack formation, and virtually irreversible changes in volume over a long period of time [3-5].

Plastic extrusion and loss of bearing capacity occurs if rock deformation exceeds permissible limits, plastic flow of the marginal rock mass occurs. This is characterized by a slow but steady extrusion of rock into the workings, pressure on the supports, and a gradual reduction in the useful cross-section.

Bending and buckling occurs. With a high horizontal stress component, relatively layered and inflexible horizons can experience cracking and bending, visually resembling wave-like heaving. This mechanism is often combined with plastic flow in more flexible layers.

Below are examples of types of swelling (Figures 1, 2).

Diagnostics and research methods

Laboratory methods include the following:

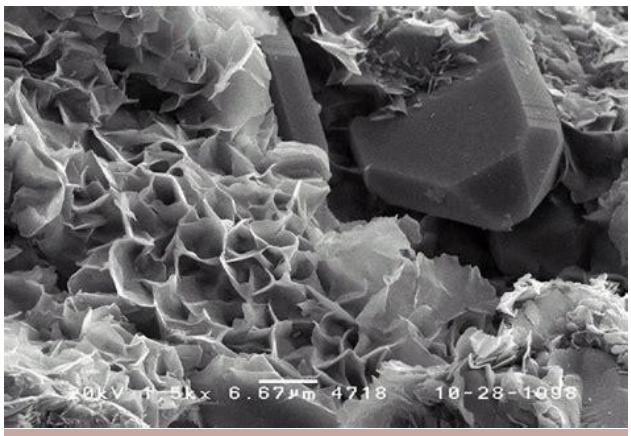


Figure 1 – SEM (scanning electron microscope) image of montmorillonite – demonstrating the microstructure of smectite minerals that leads to swelling

Mineralogical analysis to determine smectite content; petrography and SEM to study the microstructure (Figure 1); laboratory swelling tests; strength and deformation modulus tests in saturated and dry states.

Field methods are: Geophysical methods for detecting water saturation anomalies; deformation monitoring for early detection of deformation growth; hydrogeological observations and groundwater level monitoring.

Mathematical and numerical modeling: Construction of a geomechanical model of the massif (taking into account layering, fracturing, and stress distribution); numerical schemes taking into account the nonlinear behavior of clay rocks and swelling; modeling of flooding and the reaction of smectite layers.

Engineering methods for control and prevention of frost heave

Hydrogeological measures include: proper water drainage and drainage around workings; local waterproofing of hazardous areas (injections, barriers); control of water chemistry (if possible) to reduce smectite sodiumд formation [6-7].

Fastening and design solutions: and use of combined support: deformable shell, anchors and flexible elements; design of support with a reserve for possible plastic displacement (deformable support); reduction of free cross-section in the most vulnerable areas (deliberate reinforcement of areas).

Technological solutions that help reduce swelling: limiting the opening of aquifers during mining; control of process waters and chemical discharges; planning of mining to reduce stress redistribution (step mining, supported schemes) [6-7].

Research in the Karaganda coal basin using

the MIKON-GEO system was conducted at the T. Kuzembaev mine of Qarmet JSC – installation traverse 46K10-V, picket 6+9.25 m (Figure 3).

Mine geophysical surveys were conducted to predict the location of accumulation areas, increased fracturing and anomalous zones, water-saturated zones and gas accumulations.

Figures 4 and 5 show the results of two- and three-dimensional water saturation inversion for the study area. Areas with increased water saturation are identified in the 30-70 m interval, indicating possible soil heaving and rock extrusion. Further tunneling confirmed the instability of the rock mass, with extensive rock folding and stratification.

Considering that up to 20% of operational losses can be associated with mine stability issues, investments in diagnostics and preventative measures typically pay for themselves through reduced downtime, support repairs, and other measures. For effective risk management, the following are recommended: early identification of areas with elevated smectite content, systematic monitoring, and implementation of response scenarios at the first signs of swelling.

For practice and further research it is recommended: Regular mineralogical monitoring of core and rock samples for the presence of smectites; implementation of a comprehensive system for real-time deformation and water level monitoring; integration of hydrogeological and geomechanical models for

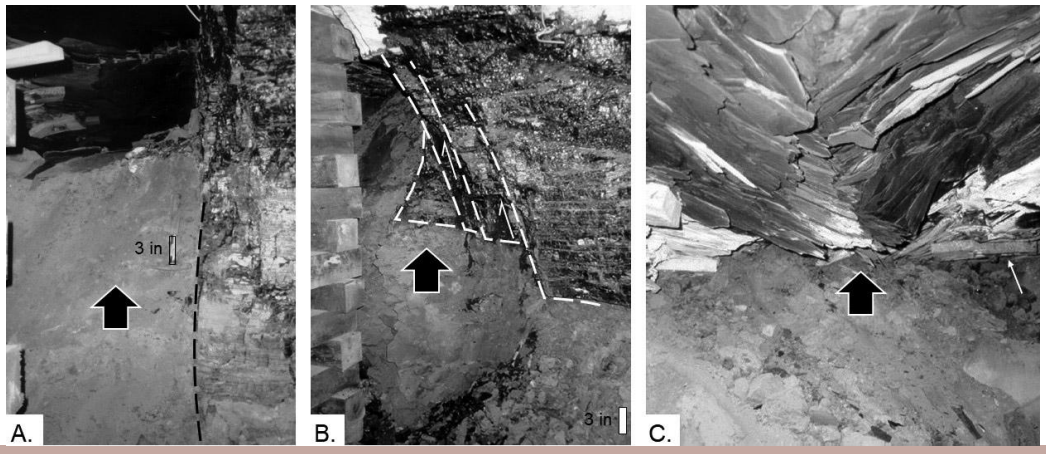


Figure 2 – Photo of soil heaving in a coal mine

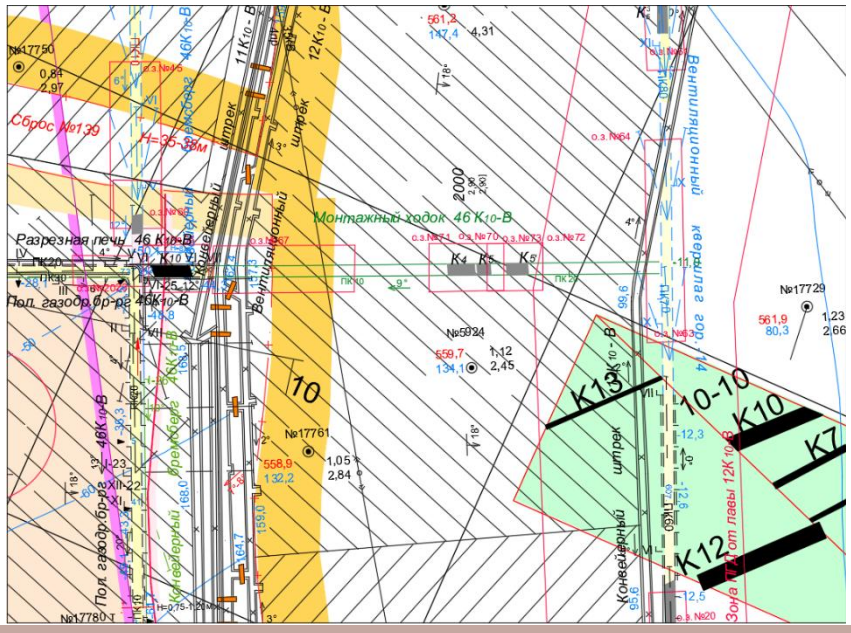


Figure 3 – Mining plan

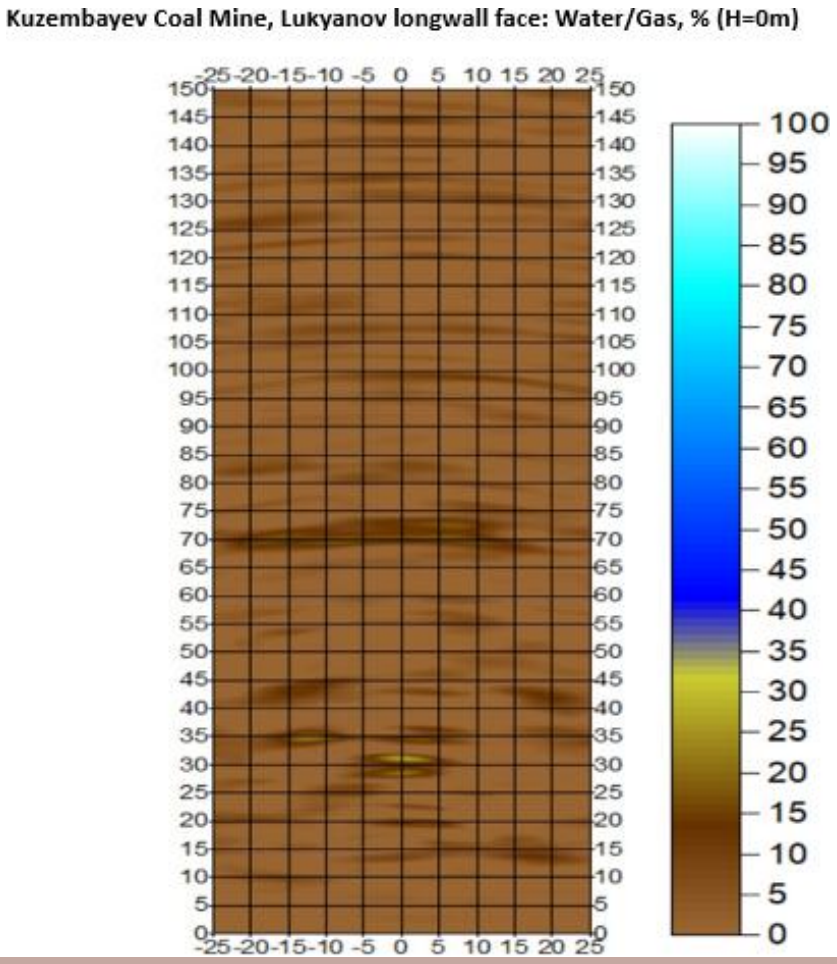


Figure 4 – Two-dimensional image of water saturation

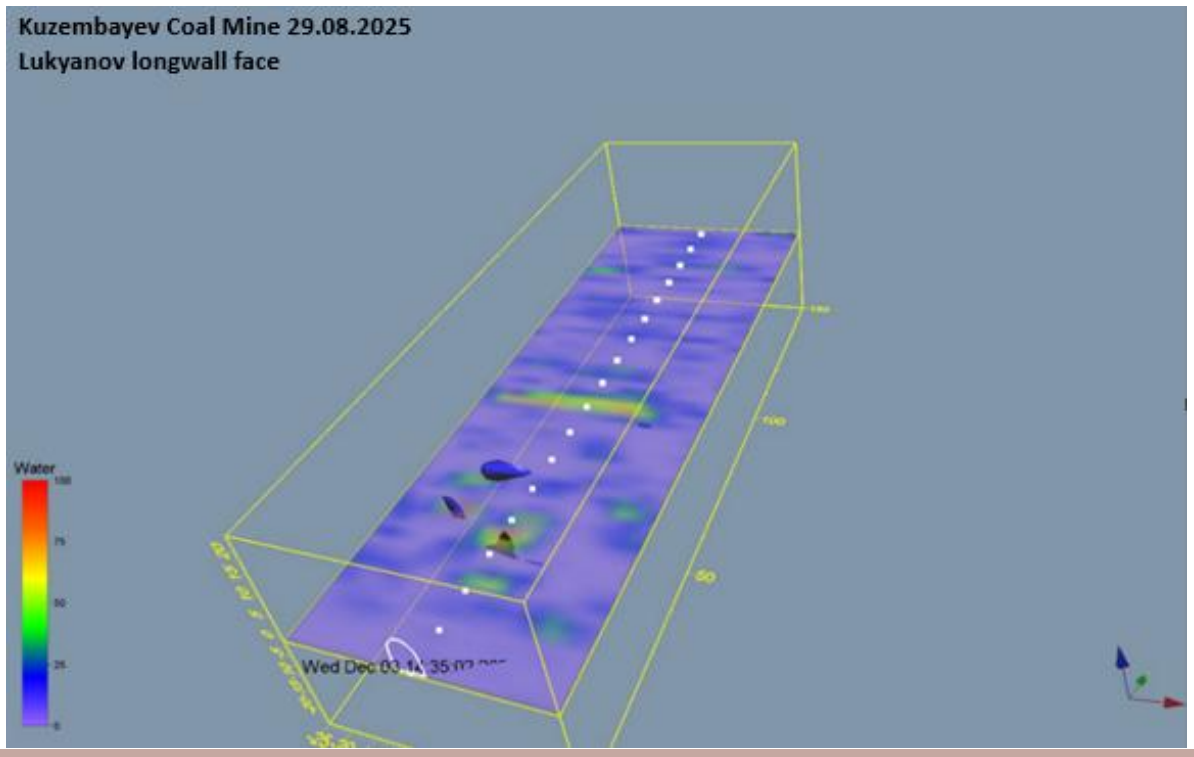


Figure 5 – Three-dimensional image of water saturation

excavation planning, taking into account the exposure of water horizons; the search for engineering solutions in the field of "support deformation"; experimental field tests to control the chemical composition of water in the working zone (to assess the possibility of reducing smectite swelling).

Soil heaving is a complex multifactorial process in which the geomechanics of clay rocks and water saturation play a key role.

Geomechanical modeling and in-situ observations are essential for predicting and managing this phenomenon.

Practical measures (support, anchoring, unloading) have proven their effectiveness, but require adaptation to specific mine conditions.

The prospect of using modern computational methods (numerical and graphical models) to improve the accuracy of forecasts and the effectiveness of engineering measures.

Conclusion

Soil heave in coal mines is the result of a complex interaction between mineralogy, hydrology, and rock mechanics. An effective heave mitigation strategy should be based on a combination of early detection (mineralogy and monitoring), adaptive support design, and hydrogeological management. For deep workings, the integration of numerical modeling with field data and the use of flexible engineering solutions capable of withstanding plastic rock flow are particularly important.

Acknowledgments:

This research was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan within the framework of program-targeted funding for the implementation of the scientific and scientific-technical program, IRN BR28712407.

REFERENCES

1. Смирнов А.В., Захаров В.Н., Харченко А.В. Геомеханическая модель процесса набухания пород почвы в горных выработках угольных шахт // Горный журнал. 2017. № 11. С. 33-36.
2. Hencher S. Practical Rock Mechanics. London: CRC Press, 2015. 356 p.
3. Нурпеисова М.Б., Иофис М.А., Милетенко И.В. Геомеханика: учебное пособие. Алматы: КазНТУ, 2014. 275 с.
4. Выгодин М.А., Евтушенко В.В. Пучение пород почвы на шахтах Западного Донбасса // Уголь Украины. 1987. № 7. С. 12-13.
5. Король А.Ю. Закономерности деформирования горного массива вокруг одиночной горной выработки при пучении её почвы // Геотехническая механика: межведомственный сборник научных трудов. 2014. № 115. С. 170-175.
6. Демин В.Ф., Яворский В.В., Демина Т.В., Стефлюк Ю.Ю. Разработка эффективных способов борьбы с пучением пород почвы в подготовительных выработках угольных шахт // Успехи современного естествознания. 2015. № 12. С. 95-99.
7. Александров А.Н., Крылов И.В., Выгодин М.А. Экспериментальные исследования проявления горного давления в выработках при заполнении зоны обжатия твердеющими материалами // Совершенствование технологии подземной разработки: сборник научных трудов. М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1985. Вып. 243. С. 125-128.

Көмір шахталарындағы табан жыныстарының көтерілуі: себептері мен даму механизмдері

*[1]**САДЧИКОВ Александр Викторович,** т.ғ.к., аға оқытушы, a.sadchikov@ktu.edu.kz,*
*[2]***НЕМОВА Наталья Анатольевна,** т.ғ.к., аға ғылыми қызметкер, nemova-nayaly@mail.ru,*
*[1]**ИСИНА Назым Ерболатовна,** магистрант, nazym.issina@gmail.com,*
*[1]**ШУЛЕПИН Андрей Николаевич,** студент, shulepin_an@mail.ru,*
*[1]**ДЗИТИЕВ Асламбек Константинович,** студент, dzt.asl@gmail.com,*
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Н.А. Чинакал атындағы тау-кен институты, РҒА СБ, Қызыл даңғылы, 54, Новосибирск, Ресей,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Көмір шахталарындағы табанның көтерілуі минералогиялық, гидрогеологиялық және геомеханикалық факторлардың үйлесуімен байланысты көпқырлы мәселе болып табылады. Мақалада бұл құбылыстың себептері, оның егжей-тегжейлі механизмдері (смектитті саздардың ісінуі, пластикалық ағу, табанның иілуі мен қораптануы), қазу тереңдігі мен тау қысымының әсері, сондай-ақ соған байланысты экономикалық және өндірістік салдарлар қарастырылған. Су қанығу жағдайларына және тау жыныстары массивінің кернеулі күйінің өзгеруіне ерекше назар аударылған. Табан көтерілуін диагностикалаудың практикалық әдістері, оны болжау және бақылаудың инженерлік тәсілдері келтірілген. Тау-кен қазбаларында табан көтерілуінің көрініс беруінің тән мысалдары ұсынылып, сандық модельдеу, бекітпе параметрлерін таңдау және қазбалардың тұрақтылығын арттыру бойынша ұсынымдар берілген. Сонымен қатар, табан көтерілуінің тау-кен жұмыстарын жүргізу қауіпсіздігіне әсері қарастырылады.*

***Кілт сөздер:** жыныс табанының көтерілуі, ісіну, смектит, пластикалық ығысу, крепь, геомеханика.*

Пучение почвы в угольных шахтах: причины, механизмы развития

*[1]**САДЧИКОВ Александр Викторович,** к.т.н., старший преподаватель, a.sadchikov@ktu.edu.kz,*
*[2]***НЕМОВА Наталья Анатольевна,** к.т.н., старший научный сотрудник, nemova-nayaly@mail.ru,*
*[1]**ИСИНА Назым Ерболатовна,** магистрант, nazym.issina@gmail.com,*
*[1]**ШУЛЕПИН Андрей Николаевич,** студент, shulepin_an@mail.ru,*
*[1]**ДЗИТИЕВ Асламбек Константинович,** студент, dzt.asl@gmail.com,*
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, Красный проспект, 54, Новосибирск, Россия,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Пучение почвы в угольных шахтах – многоплановая проблема, вызванная сочетанием минералогических, гидрогеологических и геомеханических факторов. В статье рассматриваются причины явления, детальные механизмы (набухание смектитовых глин, пластическое течение, изгиб и коробление почвы), влияние глубины разработки и горного давления, а также связанные с этим экономические и производственные последствия. Особое внимание уделено условиям водонасыщения и изменению напряжённого состояния массива. Приведены практические методы диагностики пучения, инженерные способы его прогнозирования и контроля. Представлены характерные примеры проявления пучения в горных выработках и даны рекомендации по численному моделированию, выбору параметров крепи и повышению устойчивости выработок. Также рассматривается влияние пучения почвы на безопасность ведения горных работ.*

***Ключевые слова:** пучение почвы, набухание, смектит, пластическое выдавливание, крепь, геомеханика.*

REFERENCES

1. Smirnov A.V., Zakharov V.N., Kharchenko A.V. Geomechanical model of the process of swelling of soil rocks in coal mine workings / Moscow, Mining Journal. No. 11, 2017. Pp. 33-36.
2. Hencher S. Practical Rock Mechanics. London: CRC Press, 2015. 356 p.
3. Nurpeisova M.B., Iofis M.A., Miletenko I.V. Geomechanics: tutorial. Almaty: KazNTU, 2014. 275 p.
4. Vygodin M.A., Evtushenko V.V. Soil rock heaving at Western Donbass mines. Ugol Ukrainy. 1987. No. 7. Pp. 12-13.
5. Korol A.Yu. Regular deformation of the rock massif around a single mine tunnel at its floor quelling. Geotekhnichna mekhanika: Mizhvidomchiy zbirnik naukovikh prats. 2014. No. 115. Pp. 170-175.
6. Demin V.F., Yavorskiy V.V., Demina T.V., Steflyuk Yu.Yu. Developing effective ways of combating soil species in swelling capacity of preparatory excavations of coal mines. Advances in Modern Natural Science. 2015. No. 12. Pp. 95-99.
7. Aleksandrov A.N., Krylov I.V., Vygodin M.A. Experimental investigations of pressure manifestation in excavations during the refilling of area clamping with solidifying materials. Improvement of underground mining technology: collection of scientific proceedings. Moscow: IGD imeni A.A. Skochinskogo, 1985. Iss. 243. Pp. 125-128.

Раздел 3

Строительство. Транспорт

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_148 УДК 69:004

ЕСККС: структура, принципы работы и применение в рамках цифровой трансформации

БАДАШВИЛИ Константин Гивиевич, *начальник отдела, kbadashvili@kazniisa.kz,*
ШАХНОВИЧ Александр Юльевич, *к.т.н., управляющий директор по развитию и цифровизации, gipocentr@gmail.com,*
КАБЖАН Зарина Еркебулановна, *магистр, начальник отдела, zkabzhan@kazniisa.kz,*
****ГЛЫЗНО Евгения Дмитриевна,*** *магистр, менеджер проектов, e.glyzno@kazniisa.kz,*
УМИРЗАКОВА Мадина Ганидиновна, *старший специалист, mumirzakova@kazniisa.kz,*
АО «Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры», ул. Солодовникова, 21, Алматы, Казахстан,

**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Целью настоящего исследования является описание разработки Единой системы классификации и кодирования в строительстве Республики Казахстан (ЕСККС). Система рассматривается как инструмент для обеспечения информационной совместимости и интеграции данных на всех этапах жизненного цикла строительных объектов. Основой для создания системы послужили международные стандарты ISO и национальные нормативы. Методология исследования включает анализ существующих классификационных систем и проектирование структуры ЕСККС. В процессе разработки была создана автоматизированная платформа, обеспечивающая централизованное управление данными. Результаты продемонстрировали, что ЕСККС повышает точность данных, способствует унификации процессов и оптимизирует взаимодействие между участниками строительного процесса.*

Ключевые слова: *ЕСККС, BIM, классификация данных, стандартизация, строительство, информационное моделирование, маппинг данных, автоматизация, веб-платформа, кодирование.*

Введение

Современное управление строительными проектами в Казахстане требует внедрения эффективных цифровых инструментов для стандартизации данных и прозрачности процессов. Важнейшей составляющей управления проектами является практика «Управления информацией», которая в строительстве эффективно базируется на BIM-технологии, которая в казахстанском нормативно-правовом поле именуется как: Технология информационного моделирования строительных объектов (ТИМСО).

ТИМСО служит основой цифровой трансформации отрасли, однако для ее успешного функционирования необходима унифицированная система классификации данных, которая позволит отличать один объект от другого и однозначно кодифицировать его для правильной интерпретации.

ЕСККС была разработана с целью создания целостного подхода к управлению данными на всех этапах жизненного цикла строительных объектов. Основой для создания ЕСККС послужили международные стандарты ISO 12006-2 и IEC 81346 [1,2], которые были адаптированы с учетом особенностей строительной практики Республики Казахстан. Система решает проблему разобщенности данных и повышает эффективность взаимодействия между участниками строительного процесса, способствуя оптимизации проектных и строительных решений.

В данной статье рассматриваются этапы разработки ЕСККС, ее основные преимущества, включая результаты опытной эксплуатации, а также перспективы использования системы для дальнейшего совершенствования строительной отрасли Казахстана и ее интеграции с современными цифровыми платформами.

Материалы и методы

Разработка ЕСККС проходила поэтапно и включала несколько ключевых шагов, направленных на создание комплексного инструмента для стандартизации и интеграции данных [3]. В рамках исследования проводились анализ потребностей строительной отрасли, проектирование классификационных таблиц, разработка методологии кодирования и адаптация системы к нормативной базе Казахстана [4].

Анализ потребностей строительной отрасли Казахстана

На начальном этапе были изучены существующие методы классификации и управления данными в строительной отрасли Казахстана. Особое внимание было уделено требованиям проектировщиков и инженеров, а также нормативным требованиям, связанным с государственным управлением в строительной отрасли. Результаты анализа выявили необходимость в стандартизированной системе, способной обеспечить единообразное представление данных, упростить информационное взаимодействие между участниками и минимизировать риски, связанные с несогласованностью данных.

Сравнение с международными аналогами

При разработке ЕСККС учитывались лучшие мировые практики и существующие международные классификационные системы, такие как UniClass (Великобритания), OmniClass (США) и CoClass (Швеция), основанные на стандарте ISO 12006-2 и обеспечивающие комплексную поддержку на всех этапах строительства.

UniClass предлагает детализированную классификацию объектов и их элементов, охватывающую различные аспекты проектирования и строительства. ***OmniClass*** включает широкую структуру категорий для описания строительных компонентов, ресурсов и процессов, что способствует интеграции данных и управлению проектами. ***CoClass*** ориентирован на принципы устойчивого строительства и систематизирует информацию с учетом жизненного цикла объектов, обеспечивая поддержку экологически устойчивых решений.

Международные системы стали основой для разработки ЕСККС, адаптированной с учетом специфических нормативных и практических потребностей строительной отрасли Казахстана.

Разработка структуры и классификационных таблиц

На основе проведенного анализа была разработана структура классификационных таблиц, охватывающая ключевые аспекты строительства, включая объекты, материалы и оборудование.

Проектирование классификатора опиралось на стандарты СТ РК ISO 12006-2-2017 и СТ РК IEC 81346, что обеспечило совместимость системы с международными классификационными практиками. Внутри каждой классификационной таблицы были определены основные категории (рисунок 1), включающие функциональные и технические системы, такие как инженерные системы зданий, несущие конструкции и строительные элементы.

Методология кодирования и идентификации объектов

Основным этапом разработки стала методология кодирования, основанная на иерархической системе идентификаторов. Каждый объект в ЕСККС получил уникальный код, включающий три уровня класси-

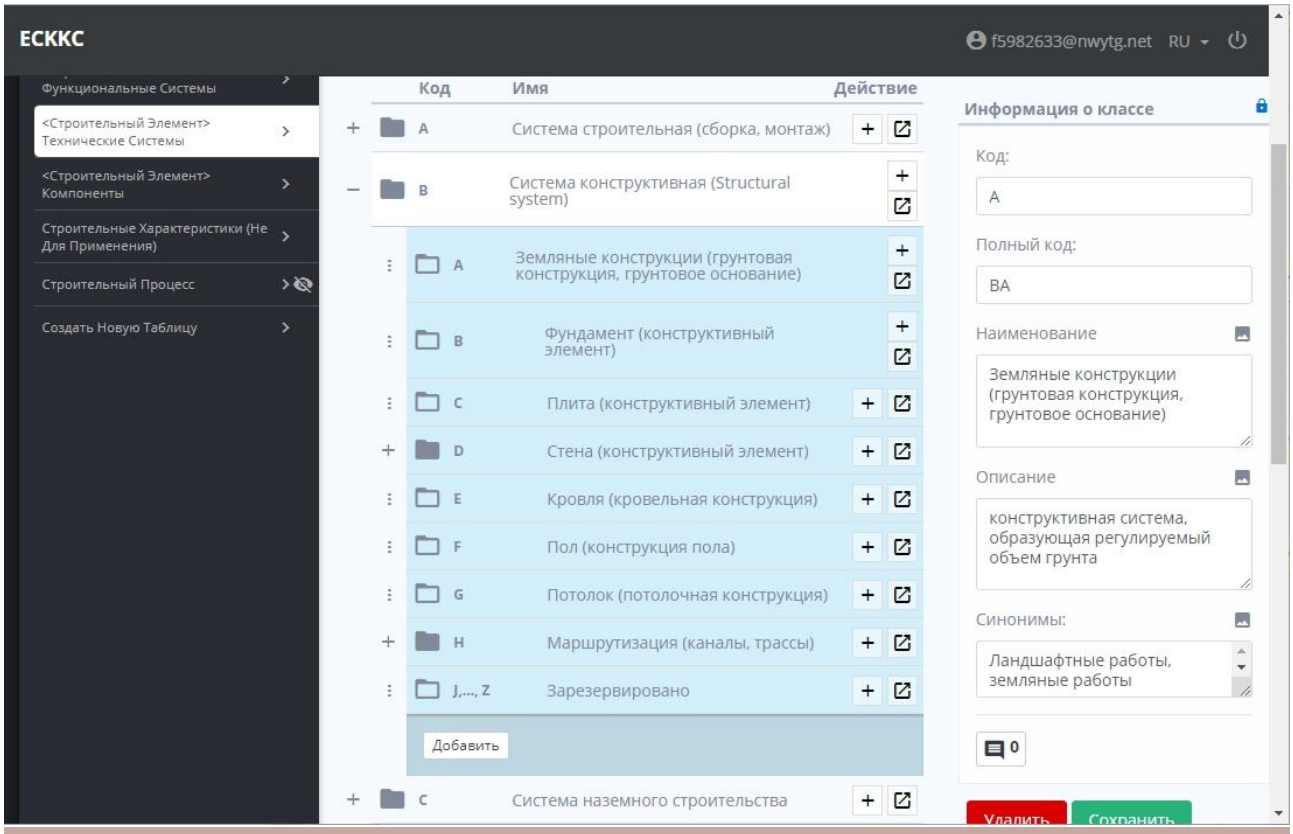


Рисунок 1 – Категории в ЕСККС

фикации: международный, национальный и пользовательский.

Подход обеспечивает совместимость с международными стандартами и адаптацию к местным требованиям. Идентификаторы позволяют пользователям настраивать элементы в соответствии со структурой проекта, сохраняя единую систему кодификации данных.

Инженерные системы и строительные элементы классифицируются с учетом уровня вложенности и значимости. Коды функциональных систем зданий содержат информацию о назначении элементов, например, водоснабжение или отопление, что обеспечивает специалистам доступ к точной и оперативной информации о системе.

Гармонизация сметного классификатора и BIM-классификатора

Для гармонизации сметного классификатора с BIM-классификатором были решены задачи корректной идентификации объектов и их характеристик, а также установление связи между классами строительных элементов и сметными нормами. Для обеспечения правильной идентификации объектов в модель были добавлены дополнительные свойства с назначением соответствующих значений. С этой целью был разработан файл общих параметров «ESKKS_Shared_Parameters_R0.txt», содержащий минимальный набор свойств, необходимых для корректной работы системы.

Для установления связей между классами классификаторов была создана таблица маппинга, которая обеспечивала поиск и определение сметных норм по заданным классам. Связь между системами обеспечивалась использованием свойств ESKKSClassCode и ESKKSTypeID, которые указывали код класса и его тип. Например, элемент *«BD Стена»* с подтипом *«%BD01 Наружные стены»* классифицировался по этим свойствам и связывался с соответствующими сметными нормами (рисунок 3).

После проведения классификации данные выгружались в таблицу Excel, где фиксировались новые свойства с кодами классов и объемы работ.

Далее эта информация импортировалась в сметную программу (рисунок 4) для расчета стоимости. В результате для каждого элемента или системы автоматически привязывались расценки, что значительно упрощало процесс сметных расчетов и снижало риск ошибок, связанных с ручной обработкой данных.

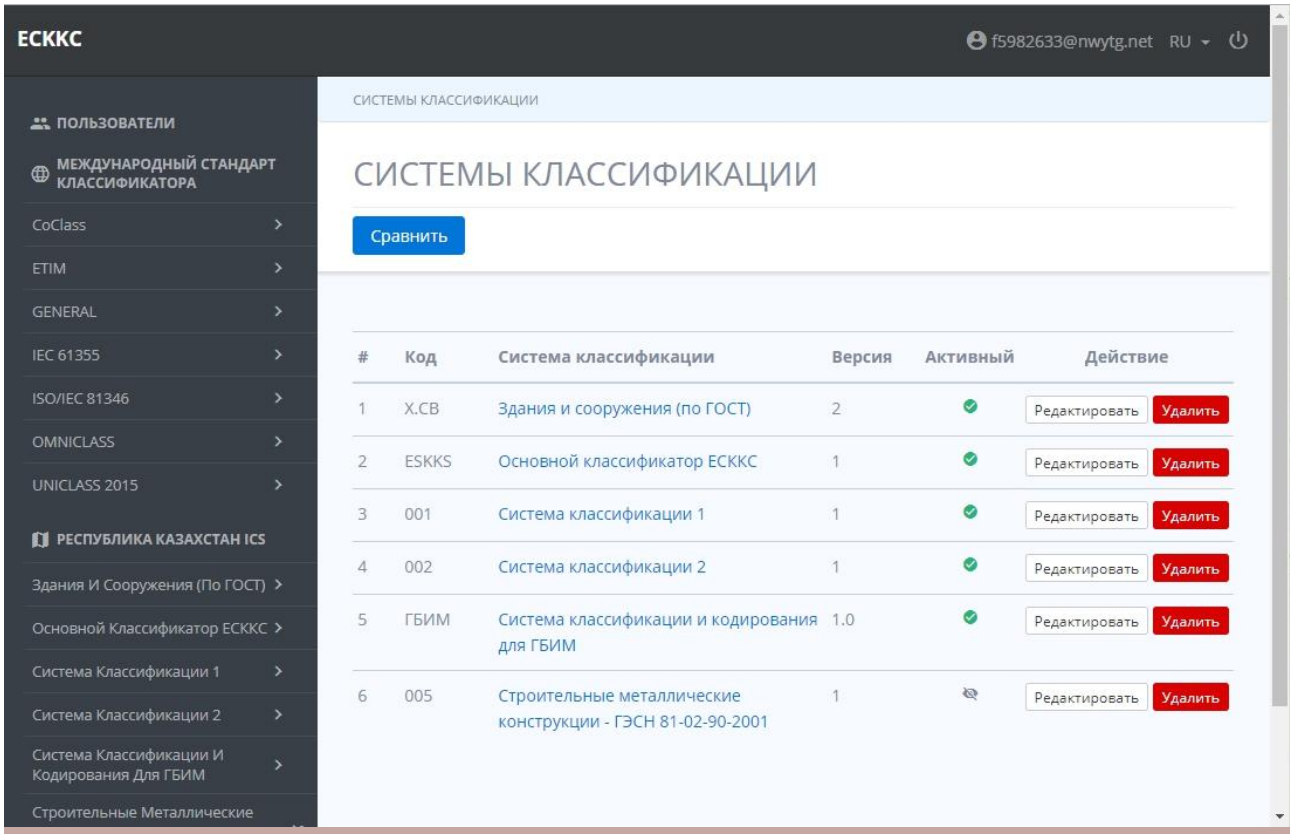


Рисунок 2 – Системы классификации

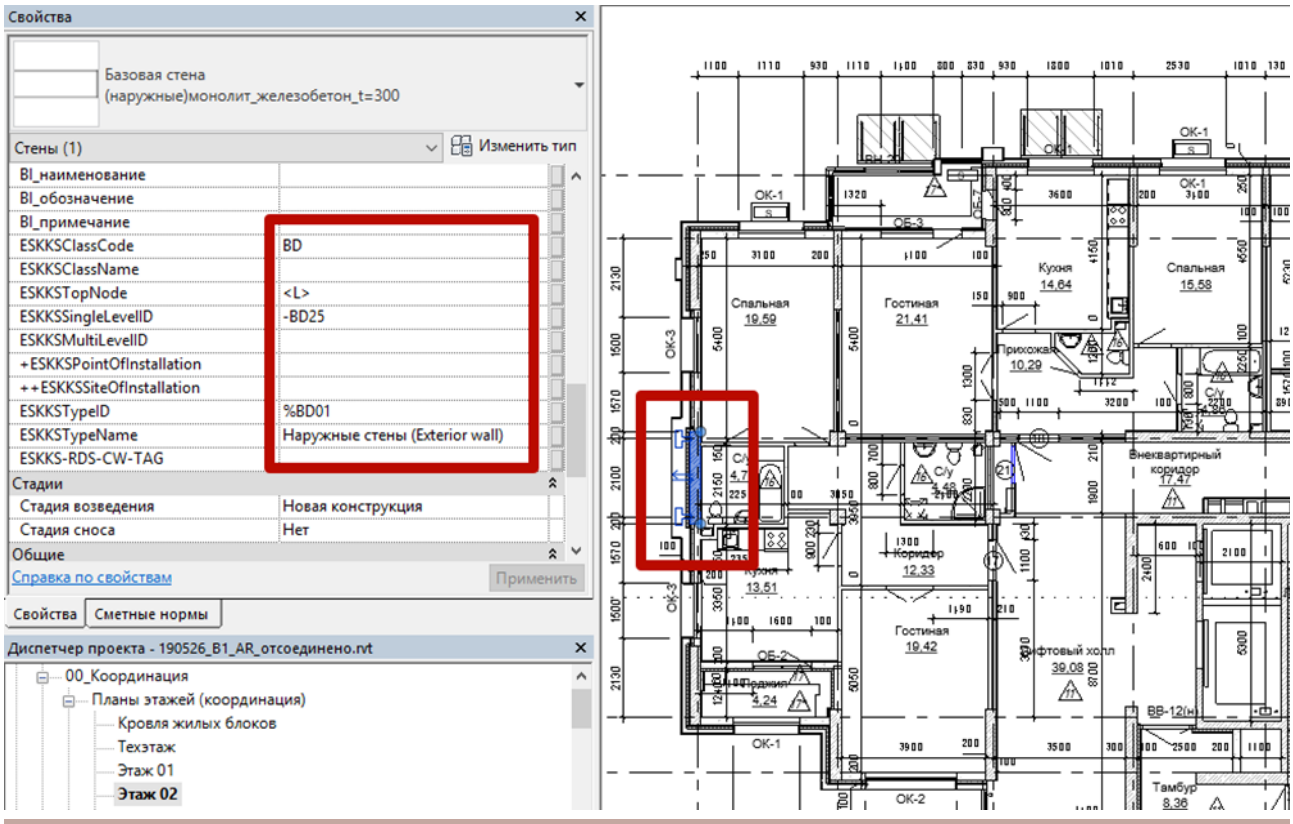


Рисунок 3 – Связь классов

2	Е11-060601-0104 11-060601-0104 РСНБ РК 2015	**Стены и перегородки бетонные высотой до 3 м, толщиной до 300 мм. Устройство** Состав работ: 1. Раскрой и установка брусков и досок 2. Установка щитов опалубки 3. Крепление элементов опалубки болтами и гвоздями строительными 4. Укладка бетонной смеси	м3	60,2300		31348,53	1888121,67
2. 1	1	Затраты труда рабочих-строителей(3,1=1323)	чел-ч	7,09	427,031	1323,00	564961,62
2. 2	3	Затраты труда машинистов	чел-ч	0,4858	29,26	1553,42	45452,57

Рисунок 4 – Выгрузка в АВС-4

Интеграция с BIM и цифровыми платформами

ЕСККС была интегрирована с основными ПО информационного моделирования зданий, такими как ***Autodesk Revit*** и ***Navisworks***. Для облегчения работы с классификационными данными были разработаны плагины, которые позволяют пользователям автоматически присваивать классификационные коды в процессе моделирования. Использование открытого формата данных ***IFC*** (Industry Foundation Classes) упростило обмен информацией и взаимодействие между участниками строительного процесса.

Опытная эксплуатация (ОЭ)

Этап опытной эксплуатации включал тестирование системы на реальном строительном объекте, проверку её работоспособности и выявление возможных доработки.

В рамках ОЭ проводилось тестирование классификационных таблиц, их согласование с проектными данными и проверка их актуальности и точности.

Также система была протестирована на совместимость с системой сметного учета, что позволило настроить автоматизированное сопоставление сметных данных и классификаторов и сократить время расчетов. Завершающим этапом стала оценка удобства использования системы, сбор отзывов от пользователей и корректировка системы в соответствии с выявленными замечаниями.

Результаты и обсуждение

Разработка ЕСККС продемонстрировала значительные улучшения в стандартизации данных, оптимизации сметных расчетов и интеграции ТИМСО в строительные процессы. Одним из основных результатов стало создание специализированного портала, доступного по адресу https://eskks.kazniisa.kz/, предоставляющего централизованный доступ к классификационным таблицам, методическим материалам и инструментам для управления данными. Портал обеспечивает функции поиска и сопоставления данных, автоматизированной генерации отчетов и интеграцию с Autodesk Revit и Navisworks.

Повышение точности и стандартизации данных

ЕСККС обеспечила стандартизацию данных на всех этапах жизненного цикла строительного объекта посредством унифицированной системы классификации, что упростило организацию данных и взаимодействие участников проектов, повысив точность идентификации объектов и снизив количество ошибок.

Система позволяет кодировать строительные конструкции и инженерные системы, что ускоряет обработку данных о них и упрощает их использование в проектировании и управлении. Классификатор охватывает основные категории, упрощая доступ к информации и ее практическое применение.

Оптимизация сметных расчетов

Интеграция классификатора с системой сметного учета автоматизировала процесс маппинга данных, что значительно сократило время подготовки смет и повысило их точность. В ходе опытно-промышленной эксплуатации установлено, что использование ЕСККС для автоматического сопоставления элементов с нормативными данными сметных расчетов уменьшило время подготовки смет по сравнению с традиционными методами.

Интеграция с BIM-инструментами и улучшение информационного взаимодействия

ЕСККС была успешно интегрирована с основными BIM-инструментами, такими как Autodesk Revit и Navisworks, что позволило улучшить информационное взаимодействие и сократило время обработки данных при проектировании и моделировании. Использование плагинов и открытых форматов данных, таких как IFC, позволило пользователям работать с классификационными кодами непосредственно в BIM-средах.

Выявленные ограничения и потенциальные улучшения

Несмотря на достигнутые положительные

результаты, опытная эксплуатация выявила несколько ограничений, которые требуют дальнейшего совершенствования. Одной из задач является дополнительная автоматизация процесса маппинга данных со сметными нормами, что особенно актуально для крупных и сложных проектов с большим объемом информации.

Другим важным аспектом является необходимость в гибкости управления правами доступа. Тестирование показало, что для крупных организаций, где сотрудники имеют различные уровни ответственности, требуется более адаптивная система распределения прав доступа, что позволит обеспечить безопасное и эффективное использование системы в условиях многопользовательской среды.

Также актуальным остается вопрос регулярного обновления классификационных данных. Для поддержания высокой точности и соответствия требованиям строительной отрасли необходимо предусмотреть механизмы постоянной актуализации классификаторов с учетом изменений в нормативной базе и стандартах. Разработка таких механизмов особенно важна в контексте динамичных условий и новых требований отрасли.

Перспективы развития и направления для будущих исследований

Важным отличием ЕСККС от других систем классификации в строительстве является то, что объединяющим аспектом для любого класса является его функциональный признак, т.е. данная система классификации позволяет идентифицировать любой элемент модели и определить его функцию. Далее к этому классу могут быть привязаны любые специфичные характеристики, такие как: вес, размеры, материал, физические, химические и эксплуатационные свойства, и т.п. ЕСККС должна стать базовой классификацией в строительстве с поэтапной интеграцией и маппингом других классификационных систем.

Одним из приоритетных направлений является создание онтологических моделей, которые позволят глубже анализировать взаимосвязи между элементами строительных проектов и улучшат системное понимание данных.

В долгосрочной перспективе ЕСККС может стать фундаментом для формирования единой национальной базы данных строительных объектов, обеспечивая межотраслевую интеграцию и повышая эффективность взаимодействия различных участников строительства.

Также планируется разработка новых модулей для углубленного анализа данных и формирования отчетов. Модули дадут возможность пользователям проводить всесторонний анализ и принимать обоснованные управленческие решения, что особенно важно при реализации крупных проектов, требующих учета множества факторов и управления рисками на различных этапах планирования и выполнения.

Выводы

Разработка ЕСККС стала важным этапом в процессе цифровизации и трансформации в строительной отрасли Казахстана. Система доказала свою эффективность в упрощении управления информацией, стандартизации данных, повышении точности сметных расчетов и оптимизации взаимодействия участников проектов. Пилотные испытания показали, что автоматизация процессов позволяет сократить время подготовки документации, а интеграция с BIM-платформами и соответствие международным стандартам способствуют улучшению обмена данными.

На сегодняшний день система доступна для широкого использования через специализированный веб-сайт, что упрощает доступ и способствует ее интеграции в рабочие процессы. Однако следует отметить, что официальное внедрение ЕСККС еще не завершено, что остается важной задачей для дальнейшей работы.

В перспективе планируется развитие аналитических модулей для углубленного анализа данных и создание национальной базы данных строительных объектов, что позволит улучшить интеграцию с другими секторами и повысить эффективность межотраслевого взаимодействия. Совершенствование системы будет способствовать укреплению позиций строительной отрасли Казахстана, делая ее более конкурентоспособной и готовой к современным вызовам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO 12006-2:2015. (2015). Building construction – Organization of information about construction works – Part 2: Framework for classification. https://www.iso.org/standard/61753.html

2. IEC 81346-1:2009. (2009). Industrial systems, installations and equipment and industrial products – Structuring principles and reference designations – Part 1: Basic rules. https://www.iso.org/standard/50857.html
3. Lima, R., Salvado, F., Silva, M.J.F., & Couto, P. (2021). Experience in the Field of Sustainability Enhanced Construction Classification System. WIT Transactions on The Built Environment. https://doi.org/10.2495/bim210021
4. Pupeikis, D., Navickas, A., Klumbytė, E., & Šeduikytė, L. (2022). Comparative Study of Construction Information Classification Systems: CCI versus Uniclass 2015. Buildings. https://doi.org/10.3390/buildings12050656

ҚБЖККЖ: құрылымы, жұмыс принциптері және цифрлық трансформация шеңберінде қолданылуы

БАДАШВИЛИ Константин Гивиевич, *бөлім бастығы, kbadashvili@kazniisa.kz,*
ШАХНОВИЧ Александр Юльевич, *т.ғ.к., даму және цифрландыру жөніндегі басқарушы директор, gipocentr@gmail.com,*
КАБЖАН Зарина Еркебулановна, *магистр, бөлім бастығы, zkabzhan@kazniisa.kz,*
****ГЛЫЗНО Евгения Дмитриевна,*** *магистр, жоба менеджері, e.glyzno@kazniisa.kz,*
УМИРЗАКОВА Мадина Ганидиновна, *аға маманы, mumirzakova@kazniisa.kz,*
«Қазақ құрылыс және сәулет ғылыми-зерттеу және жобалау институты» АҚ,
Солодовников көшесі, 21, Алматы, Қазақстан,

**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Бұл зерттеудің мақсаты – Қазақстан Республикасындағы Құрылыс саласындағы бірыңғай жіктеу және кодтау жүйесін (ҚБЖККЖ) әзірлеуді сипаттау болып табылады. Жүйе құрылыс нысандарының өмірлік циклінің барлық кезеңдерінде ақпараттық үйлесімділік пен деректерді біріктіруді қамтамасыз ету құралы ретінде қарастырылады. Жүйені жасау барысында халықаралық ISO стандарттары мен ұлттық нормативтік талаптар негізге алынды. Зерттеу әдіснамасы жіктеу жүйелерінің қолданыстағы түрлерін талдауды және ҚБЖККЖ құрылымын жобалауды қамтиды. Әзірлеу барысында орталықтандырылған деректерді басқаруды қамтамасыз ететін автоматтандырылған платформа құрылды. Нәтижелер көрсеткендей, ҚБЖККЖ деректердің дәлдігін арттырады, процестерді біріздендіреді және құрылыс үдерісіне қатысушылар арасындағы өзара әрекеттестікті оңтайландырады.*

Кілт сөздер: *ҚБЖККЖ, BIM, деректерді жіктеу, стандарттау, құрылыс, ақпараттық модельдеу, деректер мэппингі, автоматтандыру, веб-платформа, кодтау.*

USCCS: Structure, Principles of Operation and Application Within the Framework of Digital Transformation

BADASHVILI Konstantin, *Head of Department, kbadashvili@kazniisa.kz,*
SHAKHNOVICH Alexandr, *Cand. of Tech. Sc., Managing Director for Development and Digitalization, gipocentr@gmail.com,*
KABZHAN Zarina, *Master's Degree, Head of Department, zkabzhan@kazniisa.kz,*
****GLYZNO Yevgeniya,*** *Master's Degree, Project Manager, e.glyzno@kazniisa.kz,*
UMIRZAKOVA Madina, *Senior Specialist, mumirzakova@kazniisa.kz,*
JSC «Kazakh Research and Design Institute of Construction and Architecture»,
21 Solodovnikov Street, Almaty, Kazakhstan,

**corresponding author.*

Abstract. *The purpose of this study is to describe the development of the Unified System of Classification and Coding in Construction of the Republic of Kazakhstan (USCCS). The system is considered as a tool to ensure information compatibility and data integration at all stages of the life cycle of construction projects. The basis for the creation of the system was ISO inter-*

national standards and national regulations. The research methodology includes the analysis of existing classification systems and the design of the ESCCS structure. In the process of development an automated platform was created to provide centralized data management. The results demonstrated that the USCS improves data accuracy, promotes process unification and optimizes interaction between participants of the construction process.

Keywords: *ESCCS, BIM, data classification, standardization, construction, information modeling, data mapping, automation, web platform, coding.*

REFERENCES

1. ISO 12006-2:2015. (2015). Building construction – Organization of information about construction works – Part 2: Framework for classification. https://www.iso.org/standard/61753.html
2. IEC 81346-1:2009. (2009). Industrial systems, installations and equipment and industrial products – Structuring principles and reference designations – Part 1: Basic rules. https://www.iso.org/standard/50857.html
3. Lima, R., Salvado, F., Silva, M.J.F., & Couto, P. (2021). Experience in the Field of Sustainability Enhanced Construction Classification System. WIT Transactions on The Built Environment. https://doi.org/10.2495/bim210021
4. Pupeikis, D., Navickas, A., Klumbytė, E., & Šeduikytė, L. (2022). Comparative Study of Construction Information Classification Systems: CCI versus Uniclass 2015. Buildings. https://doi.org/10.3390/buildings12050656

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_156 ӘОЖ 666.972

Күріш қабығы күлін қосу арқылы механикалық белсендірілген құрғақ қоспаға негізделген автоклавты емес газдалған бетон технологиялары

САҚТАҒАНОВА Наргүл Аманқызы, *PhD, аға оқытушы, amanovna.75@mail.ru,*
ҮДЕРБАЕВ Сәкен Сейітқанұлы, *т.ғ.д., профессор, saken_uderbayev@korkyt.kz,*
****БАЙКУНИРОВА Айжан Серікқызы,*** *докторант, aizhan84id@inbox.ru,*
«Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КеАҚ, Әйтеке би көшесі, 29а, Қызылорда, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Андатпа. *Күріш қауызынан алынған күлді қосу арқылы механикалық белсендірілген құрғақ қоспа негізінде автоклавты емес газдалған бетонды (АГБ) өндіру технологиялары қарастырылады. Энергия тиімді құрылыс материалдарына деген сұраныстың артуы жеңіл бетондарды өндіруде инновациялық тәсілдерді қолдануды талап етеді. Зерттеу НГБ-ның физика-механикалық қасиеттерін жақсарту мақсатында компоненттерді механохимиялық белсендіруге, наномодификациялауға және белсенді минералды қоспаларды қолдануға бағытталған. Тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері күріш қауызының күлін 10%-ға дейін қосу материалдың беріктігін едәуір арттырып, жылу өткізгіштігін төмендететінін әрі аязға төзімділігін жақсартатынын көрсетті. Экономикалық талдау неавтоклавты газдыбетонды дәстүрлі керамикалық кірпіштермен салыстырғанда қолдану айтарлықтай үнемді екенін дәлелдейді, бұл ұсынылған тәсілдің экологиялық және экономикалық тиімділігін айқындайды.*

Кілт сөздер: *энергия тиімділігі, орнықты құрылыс, кеуектілік, экологиялық қауіпсіздік, жылу оқшаулау, ауылшаруашылығы қалдықтары.*

Кіріспе

Энергия тиімділігі жоғары құрылыс материалдарына сұраныстың артуы жеңіл бетон түрлерін зерттеуді ынталандырып отыр. Неавтоклавты газдыбетон (НАГБ) жылу оқшаулау қасиеттерінің жоғары болуы және салыстырмалы түрде төмен құны арқасында үлкен қызығушылық тудырады. Алайда, оны өндірудің дәстүрлі технологиялары жоғары шөгу, сондай-ақ, материал қасиеттерінің тұрақсыздығы сияқты бірқатар кемшіліктерімен сипатталады [1].

Мақалада дәстүрлі әдістерге тән мәселелерді шешуге мүмкіндік беретін механикалық тұрғыда белсендірілген құрғақ қоспаны қолдану арқылы НГБ өндірудің инновациялық тәсілі ұсынылған. Негізгі аспектілерге мыналар жатады:

1. Механохимиялық активация. Құрғақ қоспаны арнайы жабдықтарда, мысалы, дірілдеткіш диірменде механикалық өңдеу компоненттердің нақты бетін арттырады, олардың өзара әрекеттесуін жақсартып, цементтің гидратациясын күшейтеді. Өңдеу уақыты мен параметрлерін оңтайландыру бөлшектердің біркелкі таралуына және материалдың беріктігіне қолайлы әсер етеді.

2. Белсенді минералдық қоспаларды (БМҚ) қосу. Күріш қабығының күлі сияқты белсенді минералдық қоспаларды құрғақ қоспаға қосу НГБ-ның қасиеттерін жақсартуға және ауылшаруашылығы қалдықтарын қайта өңдеуге мүмкіндік береді. Зерттеулер БМҚ қосылған компоненттердің оңтайлы қатынасын анықтау және олардың материал қасиеттеріне әсерін бағалауға бағытталған. Бұл мақаланың жаңалығы – күріш қабығын неавтоклавты газдыбетон (НГБ) өндіру технологиясына ең тиімді мөлшерде қосу қатынасын зерттеуде. Бұл материалдың физика-механикалық қасиеттерін, атап айтқанда, беріктігін, жылу өткізгіштігін және аязға төзімділігін едәуір жақсартуға мүмкіндік береді. Ауылшаруашылығы қалдықтары-

нан алынған белсенді минералдық қоспаны енгізу НГБ-ның тұрақтылығы мен энергия тиімділігін арттырып қана қоймай, күріш қабығын қайта өңдеуге жағдай жасайды, бұл өндіріс процесін дәстүрлі әдістермен салыстырғанда экологиялық және экономикалық тұрғыдан тиімді етеді.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу барысында келесі материалдар қолданылды: МЕСТ бойынша портландцемент, ұсақ кварц құмы (1,5 мм), күріш қабығының күлі (алдын ала өңделген), алюминий ұнтағы (газ түзуші, оңтайлы дозада) және НГБ беріктігін арттыру үшін кремнезоль КЗ-ТМ-30 (цемент массасының 0,001%-ы).

Неавтоклавты газдыбетон өндіру процесінің қолданылған кезеңдері 1-суретте көрсетілген.

Зерттеу әдістеріне құрғақ қоспаны даярлау кірді, мұнда цемент, құм, күріш қабығының күлі және газ түзуші зат 5 минут бойы дірілдеткіш диірменде араластырылды. Содан кейін қоспа НГБ сынамаларын алу үшін суға қосылып араластырылды, олар стандартты қалыптарға құйылып, қатуына қалдырылды. НГБ сынамаларының қысым беріктігі 28 тәуліктен кейін МЕСТ 10180-2012 стандарты бойынша бағаланды. Кеуектілік сіңірген судың көлемі арқылы анықталды, жылуөткізгіштік – МЕСТ 7076 бойынша өлшенді, аязға төзімділік – МЕСТ 10060-2012 стандартымен қатып-ерітудің циклдік әдісі арқылы бағаланды, ал шөгу – МЕСТ 25485-89 бойынша есептелді. Микроструктураны зерттеу үшін SEM және XRD әдістері қолданылды, бұл кеуектілік құрылымымен физика-механикалық қасиеттер арасындағы байланысты анықтауға мүмкіндік берді.

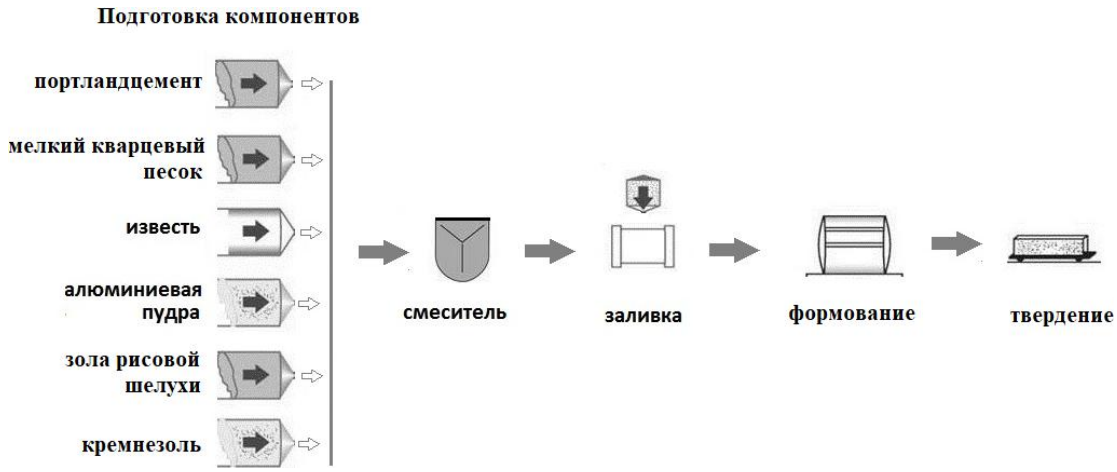
Нәтижелер және талқылау

Бұл жұмыста күріш қабығының күлі қосылған механикалық белсендірілген құрғақ қоспа негізінде алынған НГБ қасиеттері зерттелді. Құрғақ қоспаны қолдану дәстүрлі әдістермен салыстырғанда НГБ өндірісінің технологиялық тұрақтылығын едәуір арттырады.

Дірілдеткіш диірменде ұнтақтау арқылы жүзеге асырылатын механохимиялық активация (1-кесте) компоненттердің нақты бетін арттырады, бұл цементтің гидратациясын тиімдірек етіп, НГБ-ның берік құрылымын қалыптастыруға мүмкіндік береді [1]. Ұнтақтаудың оңтайлы уақыты 5 минутты құрады, бұл зерттеу [2] деректерімен сәйкес келеді.

Бұл зерттеуде НГБ өндіру үшін механикалық белсендірілген құрғақ қоспаға күріш қабығының күлін белсенді минералдық қоспа (БМҚ) ретінде қосудың әсері қарастырылды. Бақылау тобы ретінде күл қосылмаған қоспа пайдаланылды. Күріш қабығының күлі НГБ қасиеттеріне әсері қысым беріктігі, кеуектілік, жылуөткізгіштік, аязға төзімділік және шөгу бойынша жүргізілген сынақ нәтижелері арқылы бағаланды, бұл 2-кестеде көрсетіліп, 2-суретте визуалды түрде бейнеленген. Сынақтар стандартты әдістемелерге сәйкес жүргізілді: МЕСТ 10180-2012 (қысым беріктігі), МЕСТ 10060-2012 (аязға төзімділік), МЕСТ 25485-89 (шөгу), МЕСТ 7076 (жылуөткізгіштік), МЕСТ 28575 (буланuға төзімділік) және басқалары.

Күріш қабығының күлі 10%-ға дейін қосылғанда НГБ-ның қысым беріктігі артып, ең жоғарғы мәні 2,0 МПа-ға жетеді. Ал күл мөлшері 15%-ға көтерілгенде беріктік 1,8 МПа-ға төмендейді, бұл қоспа компоненттерінің оңтайлы қатынасына жетпегендіктен және артық күл цементтің гидратациясына кедергі келтіруінен болуы мүмкін. Алынған беріктік мәндері (По-6 және По-7 қоспалары үшін сәйкесінше 8,22 МПа және 7,89 МПа) керамикалық кірпіштің беріктігімен салыс-



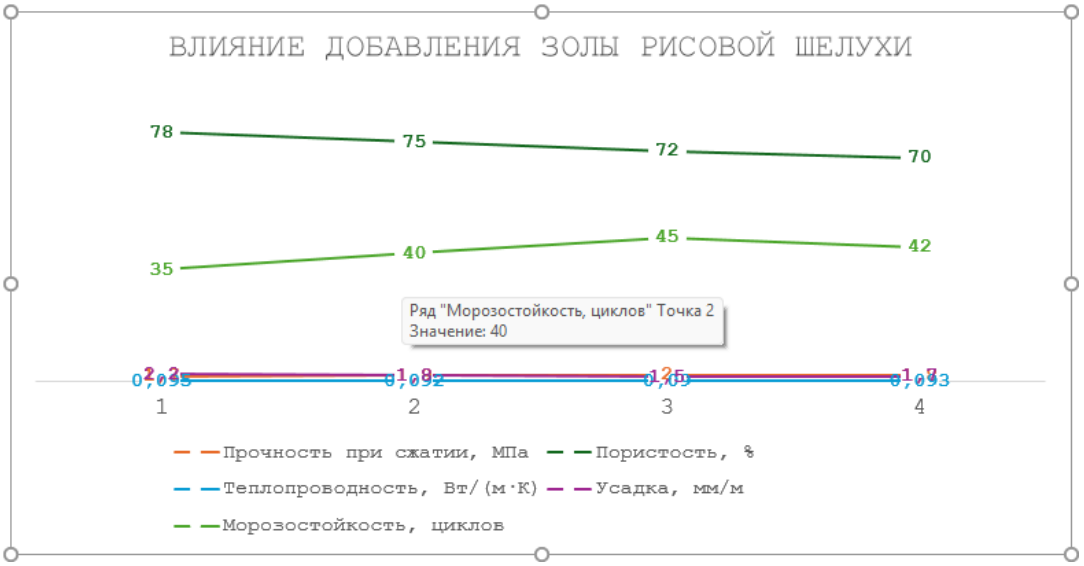
1-сурет – Автоклавсыз газобетонды өндіру кезеңдері

1-кесте – Мельницаның техникалық сипаттамалары

Көрсеткіш атауы	Көрсеткіш мәні
Қозғалтқыш қуаты, кВт	3
Мельницаның камерасының көлемі, л	10
Өңдеуші шарлардың массасы, кг	34-38
Өңдеуші шарлардың диаметрі (мм), бөлік	10-100%
Ескерту: құрастырылған деректер [1] дереккөз негізінде.	

2-кесте – Күріш қауызы күлін қосудың НГБ қысу беріктігіне әсері (жасы – 28 күн)

Күріш қауызы күлінің мөлшері, %	Қысу беріктігі, МПа	Кеуектілік, %	Жылу өткізгіштік, Вт/(м·К)	Отыр, мм/м	Суыққа төзімділік, цикл
0 (бақылау)	1,7	78	0,095	2,2	35
5	1,9	75	0,092	1,8	40
10	2,0	72	0,090	1,5	45
15	1,8	70	0,093	1,7	42



2-сурет – Күріш қабығының күлі қосылуының НГБ қасиеттеріне әсері

тырмалы (кемінде 7,5 МПа), бұл НГБ-ны дәстүрлі кірпіштің баламасы ретінде құрылыс саласында қолдануға мүмкіндік бар екенін растайды.

Күріш қабығының күлі 10%-ға дейін қосылғанда кеуектілік 78%-дан 72%-ға дейін төмендейді, бұл оның пуццоландық белсенділігіне сәйкес келеді және беріктік сипаттамаларын жақсартады. Күл мөлшері одан әрі артқан жағдайда кеуектіліктің төмендеуі айтарлықтай байқалмайды [1].

Күріш қабығының күлі НГБ-ның жылуөткізгіштігін төмендетеді, ең төменгі мәні 10% күл қосылғанда 0,090 Вт/(м·К) болып, жылу оқшаулау қасиеттерін жақсартады. Сынамалардың жоғары кеуектілігі тамаша жылу- және дыбыс оқшаулау сипаттамаларын қамтамасыз етеді, ал блоктардың аз массасы негізге түсетін жүктемені азайтып, құрылымның тұрақтылығын арттырады, бұл [3] деректерімен расталады.

Күріш қабығының күлі 10%-ға дейін қо-

сылғанда НГБ-ның аязға төзімділігі (2-кесте) 35-тен 45 қатып-ерітудің циклдеріне дейін артады. Күл мөлшерін одан әрі арттыру аязға төзімділіктің аздап төмендеуіне әкеледі. Шөгу де күл мөлшерінің артуымен азаяды.

Күріш қабығының күлі қосылған НГБ-ның кеуекті құрылымы 3-суретте көрсетілген.

Соңғы онжылдықтарда НГБ-ны құрғақ қоспалар негізінде өндіру технологиялары дамып келеді, бұл компоненттердің дәл дозалануы арқылы қасиеттердің тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Цемент тасының қасиеттерін модификациялау және құрылым қалыптасуын жақсарту үшін пластификаторлар мен БМҚ сияқты қоспалар қолданылады. Зерттеулер беріктік, жылуөткізгіштік және аязға төзімділіктің оңтайлы үйлесімін қамтамасыз ететін материалдарды жасауға бағытталған [4].

НГБ басқа жеңіл құрылыс материалдарымен салыстырылады, мысалы, АГБ, пенобетон және керамзитобетон. НГБ-ның басты артықшылығы – автоклавсыз өңдеумен өндірілетін төмен энергия шығыны, алайда, АГБ әдетте жоғары беріктікке ие. Пенобетонмен салыстырғанда НГБ тұрақты қасиеттерді көрсетеді, ал керамзитобетон беріктігімен жақсы болса да, жылуөткізгіштігі жоғары. НГБ жылу оқшаулауды және жүктемені көтеру қабілетін қамтамасыз етеді, бірақ өте төмен жылуөткізгіштік мәндеріне жету үшін өндірісі қымбат болуы мүмкін [5].

НГБ қасиеттерін зерттеулер байланыстырғыш құрамына, газ түзуші түрі мен мөлшеріне, су-цемент қатынасына және қату режиміне әсер ететін факторларға бағытталған. Бұл параметрлер беріктікке, жылуөткізгіштікке, аязға төзімділікке және шөгу деформацияларына әсер етеді. Арнайы назар НГБ микроструктурасына аударылады, ол сканерлеуші электронды микроскопия және рентген фазалық талдау арқылы кеуектілік пен физикалық-механикалық қасиеттер арасындағы байланысты анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеулер сондай-ақ, шөгу және жарық түзілу механизмдерін түсінуге бағытталған [6].

НГБ технологияларын дамытудың негізгі тенденциялары [7-10] мыналармен байланысты:

• Беріктікті арттыру және шөгуін азайту – зерттеулер жаңа рецептуралар мен технологияларды әзірлеуге бағытталған, бұл жоғары беріктік қасиеттері бар және минималды шөгуі бар НГБ алуға мүмкіндік береді.

• Жылу оқшаулау қасиеттерін жақсарту – ғимараттардың энергия тиімділігін арттыру үшін әлдеқайда төмен жылуөткізгіштікке ие НГБ жасау.

• Балама және екінші шикізаттарды пайдалану – шығындарды азайту және эколо-

3-сурет – Күріш қабығының күлі қосылған НГБ кеуектері формасы

гиялық сипаттамаларды жақсарту мақсатында белсенді минералды қоспаларды (БМҚ) қолдануды кеңейту.

• Өндірістік әдістерді дамыту – процесті автоматтандыру және өндіріс құнын төмендету үшін жоғары өнімді жабдықтарды жасау.

• Аддитивті технологияларды қолдану – НГБ-ны 3D басып шығару күрделі конструкциялар мен жеке шешімдер жасауға жаңа мүмкіндіктер ашады.

Осы зерттеудің нәтижелері күріш қабығының күлі қосылған механикалық белсендірілген құрғақ қоспаны НГБ өндірісінде қолданудың перспективтілігін растайды. Күлінің оңтайлы мөлшері шамамен 10% құрайды, бұл жоғары беріктік қасиеттерді, жақсартылған жылу оқшаулау қасиеттерін және арттырылған аязға төзімділікті қамтамасыз етеді, сонымен қатар, ауылшаруашылық қалдықтарын өңдеуге ықпал етеді. Бұл тәсілдің экономикалық және экологиялық тиімділігін одан әрі зерттеу қажет.

Күріш қабығының күлі НГБ-ға қосылуы физикалық-механикалық қасиеттерді жақсартады және ауылшаруашылық қалдықтарын өңдеуге мүмкіндік береді. Күріш қабығы, күріш өңдеудің жанама өнімі ретінде жиі өртеліп немесе тасталады, бұл қоршаған ортаны ластайды. Күлді қолдану қалдықтарды азайтуға және оларды құнды құрылыс материалына айналдыруға мүмкіндік береді. Күлдің механикалық белсендірілуі оның пуццоландық қасиеттерін жақсартады, цементке деген қажеттілікті төмендетеді және көміртегі ізін азайтады.

Күріш қабығын қолдану сондай-ақ, өңдеуге арналған қалдық көлемін және қатты қалдық полигонына түсетін жүктемені

азайтады. Осылайша, НГБ өндірісінде күріш қабығын пайдалану құрылыс саласында тұрақты тәсіл болып табылады, экономикалық тиімділікті қоршаған ортаны қорғаумен үйлестіреді.

Қорытындылар

Жүргізілген зерттеулер негізінде келесі қорытындыларға келуге болады:

1. По-6 және По-7 құрамы бар автоклавсыз газдалған бетонның қысым беріктігі сәйкесінше 8,22 МПа және 7,89 МПа болды, бұл керамикалық кірпіштің беріктігімен (кемінде 7,5 МПа) салыстырылатын көрсеткіш. Бұл дәстүрлі кірпіштің автоклавсыз газдалған бетон блоктарымен алмастырылуына мүмкіндік беретінін растайды, құрылыс саласында оның қолдану мүмкіндіктерін кеңейтеді.

2. Автоклавсыз газдалған бетон блоктары жоғары кеуектілігімен ерекшеленеді, бұл оларға тамаша жылу және дыбыс оқшаулау қасиеттерін қамтамасыз етеді. Блоктардың аз салмағы бірінші қабатқа және іргетасқа түсетін жүктемені азайтып, конструкциялардың жалпы салмағын төмендетеді және олардың тұрақтылығын арттырады.

3. Автоклавсыз газдалған бетон өндірісінде күріш қабығын қолдану қалдықтарды өңдеуге көмектеседі және қоршаған ортаны қорғауға ықпал етеді. Сонымен қатар, күріш қабығын қосу материал мен конструкциялардың құнын төмендетуі мүмкін, бұл оларды тұтынушылар үшін қолжетімді етеді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Коваль Е.С. Көмірді жағу кезінде пайда болатын күл-қалдық негізіндегі жасушалы бетондар. Магистрлік диссертация. Красноярск. – 2022. – 96 б.
2. Пенобетон өндірісі технологиясы және массалық үлестерді дайындау рецепті [Электрондық ресурс]. Қолжетімділік режимі: https://vsebloki.ru/stati/tehnologiya-proizvodstva-penobetona-i-recept-prigo-tovleniya-massovyh-doley/ (қол жеткізілген күні: 15.04.2025)
3. Lesovik V., Glagolev E., Elistratkin M., Absimetov M., Ermolaeva A. Ауамен қанықкан бетонды 3D құрылысқа қолдану перспективалары. – 2017. DOI: 10.2991/aime-17.2017.33.
4. Ilina L., Rakov M., Velichko B., Mukhina I. Автоклавсыз газдалған бетон өндірісінің технологиясы және автоматтандыруы // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/953/1/012050.
5. Azmodeh F.F., Attar A., Maniat M., Rahmati M. Автоклавталған газдалған бетон (AAC) және дәстүрлі құрылыс материалдарын энергия үнемдейтін жасыл ғимарат үшін салыстырмалы талдау // Journal of Technology Innovations and Energy. – 2024. – № 3 (3). – Б. 1-12. DOI: 10.56556/jtie.v3i3.967
6. Chang Y.Y., Han H.N., Kim M. 2D материалдардың микроструктурасын және оған байланысты қасиеттерін өткізгіш электрондық микроскопия арқылы талдау // Appl. Microsc. – 2019. 49, 10 (2019). DOI: 10.1186/s42649-019-0013-
7. Khokhar M., Rozière E., Grondin F., Loukili A. Минералдық қоспалардың бетонның кейбір беріктігі мен төзімділік көрсеткіштеріне әсері // HAL – 2017. https://hal.science/hal-01008100/document
8. Тислова М.А., Бегимбетова А.С. Ғимараттардың энергия тиімділігін арттыру үшін оңтайлы бу-теплоизоляциялық материалдарды қолдану // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2023. – № 11-4 (86). – Б. 123-131.
9. Efimov B., Isachenko S., Kodzoev M.-B., Dosanova G., Bobrova E. Бетон технологиясында дисперсті күшейткіштер // E3S Web of Conferences. – 2019. – № 110 (33): 01032. DOI:10.1051/e3sconf/201911001032
10. Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Гамалий Е.А., Черных Т.Н., Зимич В.В. Цементті бетондар мен ерітінділерді модификаторлары (техникалық сипаттамалары және әрекет ету механизмі) оқу құралы. – 2012. – 212 б.

Технологии неавтоклавного газобетона на основе механически активированной сухой смеси с добавлением золы рисовой шелухи

САКТАГАНОВА Наргуль Амановна, *PhD, старший преподаватель, amanovna.75@mail.ru,*
УДЕРБАЕВ Сакен Сейтканович, *д.т.н., профессор, saken_uderbayev@korkyt.kz,*
****БАЙКУНИРОВА Айжан Сериковна,*** *докторант, aizhan84id@inbox.ru,*
НАО «Кызылординский университет имени Коркыт Ата», ул. Айтеке би, 29а, Кызылорда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассматриваются технологии производства неавтоклавного газобетона (НГБ) на основе механически активированной сухой смеси с добавлением золы рисовой шелухи. Увеличение спроса на энергоэффективные строительные материалы требует инновационных подходов к производству легких бетонов. Исследование фокусируется на механохимической активации компонентов, наномодификации и использовании активных минеральных добавок для улучшения физико-механических свойств НГБ. Результаты экспериментов показывают, что добавление золы рисовой шелухи до 10% значительно повышает прочность, снижает теплопроводность и улучшает морозостойкость материала. Экономический анализ демонстрирует значительную экономию при использовании НГБ по сравнению с традиционными керамическими кирпичами, что подчеркивает экологическую и экономическую эффективность данного подхода.*

Ключевые слова: *энергоэффективность, устойчивое строительство, пористость, экологичность, теплоизоляция, сельскохозяйственные отходы.*

Non-autoclaved Aerated Concrete Technologies Based on Mechanically Activated Dry Mix with Addition of Rice Husk Ash

SAKTAGANOVA Nargul, *PhD, Senior Lecturer, amanovna.75@mail.ru,*
UDERBAEV Saken, *Dr. of Tech. Sc., Professor, saken_uderbayev@korkyt.kz,*
****BAYKUNIROVA Aizhan,*** *Doctoral Student, aizhan84id@inbox.ru,*
NPJSC «Korkyt Ata Kyzylorda University», 29a Aiteke bi Street, Kyzylorda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *This article discusses the production technologies of non-autoclaved aerated concrete (NAAC) based on a mechanically activated dry mix with the addition of rice husk ash. Increasing demand for energy-efficient building materials requires innovative approaches to the production of lightweight concrete. The study focuses on the mechanochemical activation of components, nanomodification and the use of active mineral additives to improve the physical and mechanical properties of NAAC. The experimental results show that the addition of rice husk ash up to 10% significantly increases strength, reduces thermal conductivity and improves frost resistance of the material. Economic analysis demonstrates significant savings when using NAAC compared to traditional ceramic bricks, which emphasizes the environmental and economic efficiency of this approach.*

Keywords: *energy efficiency, sustainable construction, porosity, environmental friendliness, thermal insulation, agricultural waste.*

REFERENCES

1. Koval E.S. Yacheistye betony na osnove zoloshlakovykh otkhodov ot szhiganiya uglya. Mag. dissert. Krasnoyarsk. – 2022. – 96 p.
2. Tekhnologiya proizvodstva penobetona i retsept prigotovleniya massovykh doley [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: https://vsebloki.ru/stati/tehnologiya-proizvodstva-penobetona-i-recept-prigotovleniya-massovyh-doley/ (data obrashcheniya 15.04.2025).
3. Lesovik V., Glagolev E., Elistratkin M., Absimetov M., Ermolaeva A. Perspectives of application of aerated concrete for 3D building printing. – 2017. DOI: 10.2991/aime-17.2017.33.
4. Ilina L., Rakov M., Velichko B., Mukhina I. Technology and Automation of Non-Autoclaved Aerated Concrete Production // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/953/1/012050.
5. Azmodeh F.F., Attar A., Maniat M., Rahmati M. Comparative Analysis of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) vs. Traditional Building Materials for Energy-Efficient Green Building // Journal of Technology Innovations and Energy. – 2024. – № 3 (3). – Pp. 1-12. DOI: 10.56556/jtie.v3i3.967
6. Chang Y.Y., Han H.N., Kim M. Analyzing the microstructure and related properties of 2D materials by transmission electron microscopy // Appl. Microsc. – 2019. 49, 10 (2019). DOI: 10.1186/s42649-019-0013-5
7. Khokhar M., Rozière E., Grondin F., Loukili A. Effect of Mineral Additives on Some of Durability Parameters of Concrete // HAL – 2017. https://hal.science/hal-01008100/document
8. Tislova M.A., Begimbetova A.S. Primenenie optimal'nykh paro-teploizolyatsionnykh materialov dlya povysheniya energoyefektivnosti zdaniy // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2023. – № 11-4 (86). – Pp. 123-131.
9. Efimov B., Isachenko S., Kodzoev M.-B., Dosanova G., Bobrova E. Dispersed reinforcement in concrete technology // E3S Web of Conferences. – 2019. – № 110 (33): 01032. DOI: 10.1051/e3sconf/201911001032.
10. Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya., Gamaliy E.A., Chernykh T.N., Zimich V.V. Modifikatory tsementnykh betonov i rastvorov (tekhnicheskie kharakteristiki i mekhanizm deystviya) uchebnoe posobie. – 2012. – 212 p.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_163 ӘОЖ 624.04(075.8)

Ортотропия қасиеттері бар үшбұрышты пластиналардың орнықтылық мәселелері

[1]**НУГУЖИНОВ Жмагул Смагулович,** *т.ғ.д., институт директоры, kazmirr@mail.ru,*
[2]**АХМЕДИЕВ Серик Кабултаевич,** *т.ғ.к., профессор, s_ahmediev@mail.ru,*
[2]**МИХАЙЛОВ Валентин Феликсович,** *т.ғ.к., доцент, v.mihaylov@kstu.kz,*
[2]***БЕКЕТОВА Мөлдір Сайлаубекқызы,** *докторант, moldir-9292@mail.ru,*
[3]**ХАБИДОЛДА Омирхан,** *PhD, қауымдастырылған профессор, oka-kargtu@mail.ru,*
[1]Қазақстандық көп салалы қайта құру және даму институты, Н. Назарбаев даңғылы, 56/6, Қарағанды, Қазақстан,
[2]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[3]«Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті» КеАҚ, Университет көшесі, 28, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Ортотропты үшбұрышты пластиналардың әртүрлі жүктемелер мен тіреу шарттары жағдайындағы орнықтылығы зерттелді. Геометрия мен материал қасиеттерінің күрделілігіне байланысты есептеулер үшбұрышты торды қолданатын сандық айырмашылық әдісімен орындалды. Қиратушы жүктемелер, қырларының еңкіш бұрыштары, ортотропия коэффициенттері және шекаралық шарттар есепке алынды. Алғашқы параметрлер өзгергенде автоматтандырылған тұрақтылық талдау әдісі әзірленді. Тең бүйірлі және симметриясы жоқ түрлі үшбұрышты пластиналарға есептеулер жүргізілді. Ортотропияның тұрақтылыққа әсері, әсіресе симметриясы бұзылған пластиналарда, күрделі екені анықталды. Қиратушы жүктемелер әртүрлі жүктеме түрлерінде (біркелкі тарату немесе шоғырланған күштер), геометриялық конфигурацияларда (α және β бұрыштары), ортотропия коэффициенттерінде (a_0, β_0) және тіреу түрлерінде (қатаң немесе еркін бекіту) есептелді. Нәтижелер кестелер мен графиктер түрінде ұсынылып, есептеулермен расталды және жұқа қабыршақты ортотропты конструкцияларды жобалау кезінде қолданылуы мүмкін.*

Кілт сөздер: *ортотропты материал, үшбұрышты пластина соңғы айырымдық әдісі, үшбұрышты тор, ортаңғы бетіндегі ауытқулар мен күштер.*

Кіріспе

Қазіргі заманғы машина жасау салалары – авиация, ғарыш техникасы, кеме жасау, химиялық машина жасау және құрылыс – жеңіл әрі берік қасиеттерді үйлестіретін жұқа қабырғалы конструкцияларды есептеуді талап етеді. Бұл олардың кеңінен қолданылуына негіз болады. Осындай конструкциялардың ішінде пішіні күрделі пластиналар мен қабықшалар ерекше рөл атқарады. Мұнда конструкцияның геометриялық формасы шешуші маңызға ие (Эдуардо Торроха).

[2] еңбекте қосымша энергия функционалы мен Лагранж көбейткіштері арқылы иілу моменттерін кесінділік-тұрақты аппроксимациялау негізінде жұқа пластиналардың орнықтылығын соңғы элементтер әдісімен есептеу тәсілі ұсынылған. [3] жұмысында Рэлея-Ритц әдісін қолдану арқылы серпімді негіздегі үшбұрышты жұқа пластиналардың статикалық және динамикалық жүктемелер кезіндегі мінез-құлқы зерттелген.

Киғаш бұрышты пластиналарды талдау үшін [4] дифференциалды-квадратура әдісі қолданылып, қиғаш бұрышты координаттар жүйесінде тепе-теңдік теңдеулерінің толық жиынтығы алынған. Аналитикалық әдістер өздерінің қарапайымдылығы, әмбебаптығы және деформациялау функцияларын алдын ала беруді қажет етпейтіндігіне байланысты әлі де өзектілігін сақтауда [5-7, 9].

Негізгі теориялық қағидалар мен әдістер

Пластиналар пішіндерінің алуан түрлілігімен (тікбұрышты, дөңгелек, үшбұрышты және т.б.) және материалдарының қасиеттерімен (изотропты, ортотропты, композиттік, көпқабатты) ерекшеленеді. Пластиналардың беті мен қалыңдығы бойынша геометриялық және күштік факторлардың таралуына сыртқы жүктемелердің (күштік, температуралық және т.б.) әсерін, сондай-ақ, кернеулі – де-

формацияланған күйін (КДК) зерттеу маңызды.

Жұқа қабырғалы пластиналардың қалыңдығының аздығына байланысты орнықтылық мәселесі – сығушы жүктемелер әсерінде пішінін сақтау туындайды. Бұл конструктивтік параметрлер мен материалдың ортотропиясын ескере отырып шекті жүктемелерді анықтауды талап етеді. Аталған жұмыс жұқа үшбұрышты пластиналардың орнықтылығын соңғы айырымдар әдісімен сандық зерттеуге арналған.

Жұқа ортотропты пластиналардың орнықтылығының бастапқы дифференциалдық теңдеуі [7, 8] төмендегі түрде жазылады:

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - \left(N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = 0, \quad (1)$$

мұндағы $\omega = \omega(x, y)$ – пластинаның ортаңғы жазықтығына нормаль бағыттағы сызықтық орын ауыстырулар функциясы (басқаша айтқанда, пластинаның майысулары);

(D_x, D_y, H) – тиісінше «x» және «y» осьтері бойынша цилиндрлік қаттылықтар;

H – бұралу қаттылығы.

Ортотропияның шартты коэффициенттерін (α_0, β_0) төмендегідей түрде енгізейік:

$$\alpha_0 = \frac{2(D_x + 2D_{xy})}{D_x} = \frac{2H}{D_x}; \quad \beta_0 = \frac{D_y}{D_x}. \quad (2)$$

Зерттеу нысаны болып геометриялық параметрлері келесідей болатын жұқа ортотропты үшбұрышты пластина алынған: a – табанның ұзындығы; α және β – сол және оң қырларының табанға қатысты еңкею бұрыштары (1-сурет, а).

Жүктеу екі нұсқада қарастырылады:

а) интенсивтілігі q болатын периметр бойымен бірқалыпты сығылу (1-сурет, а), ол біртекті жазық кернеулі күйді қалыптастырады;

б) үш қырдың орталарында P күшімен шоғырланған сығылу (2-сурет, а), ол біртекті емес жазық кернеулі күйді туындатады.

Пластина қырлары бойынша шекаралық шарттар да екі нұсқада қабылданған:

а) үшбұрышты контур бойымен еркін тірелу;

б) соған ұқсас қатаң тірелу.

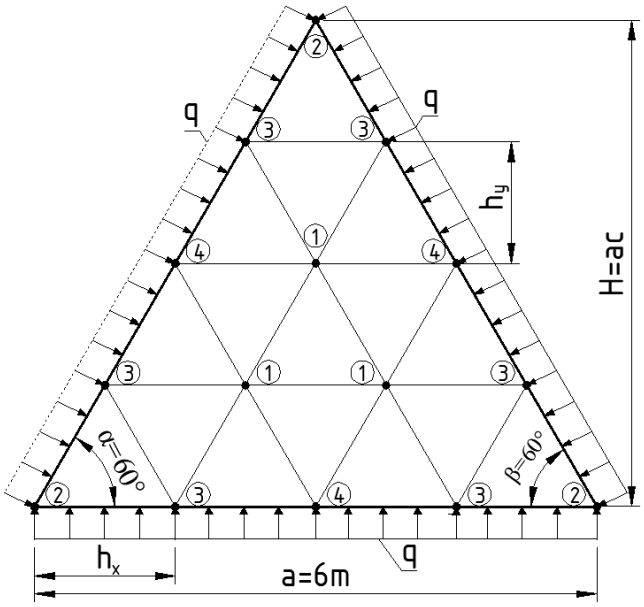
Зерттеу нәтижелері

(1) теңдеуін тиісті шекаралық шарттармен бірге шешу әртүрлі қабырғалы үшбұрыштардан тұратын торды қолдана отырып соңғы айырымдар әдісімен (САӘ) жүргізіледі.

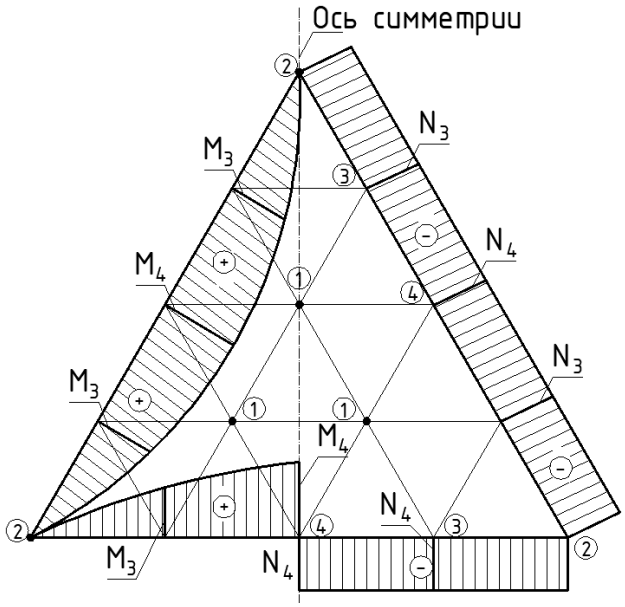
Әртүрлі қабырғалы үшбұрыштар торының 19-мүшелі үлгісіндегі і-ші түйін үшін (3-сурет) (1) теңдеуі [10, 11] еңбектеріне сәйкес төмендегідей түрде жазылады:

Мұнда:

$$k = \frac{C^* h y^2}{D_x}, \quad (3)$$

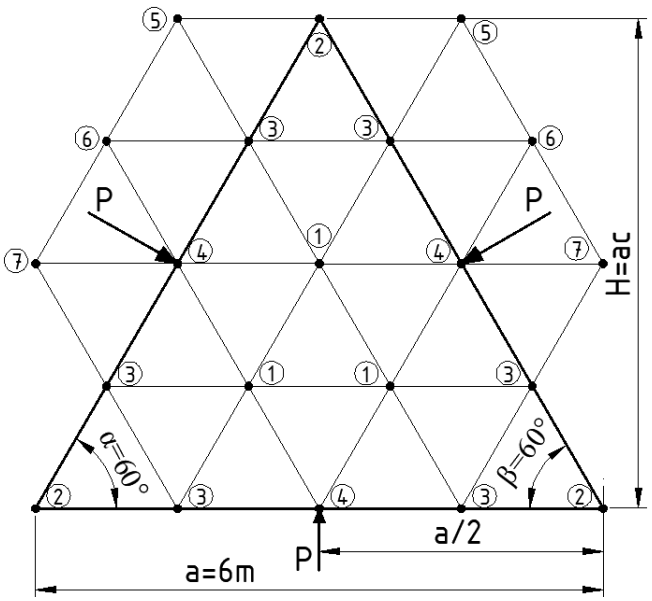


а) Үшбұрышты пластинаның «q» жүктемесі бойынша есептеу схемасы

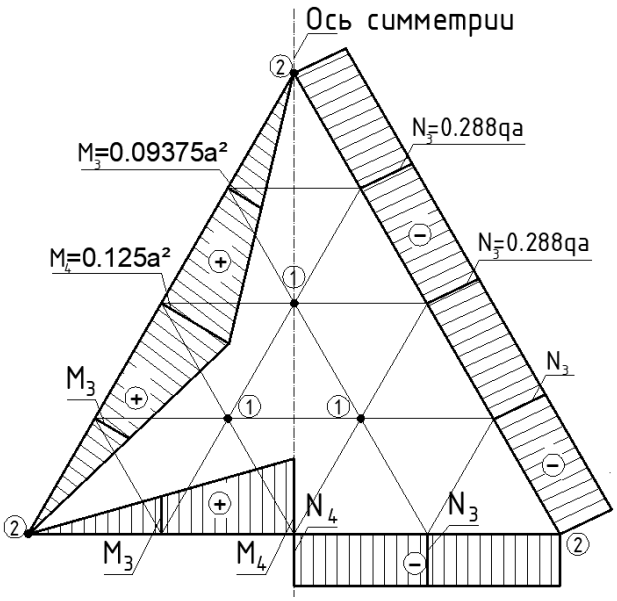


б) Контурлық үштопсалы рамадағы M және N эпюралары

1-сурет – Үшбұрышты пластинаның периметрі бойымен бірқалыпты таралған жүктememен жүктелуі



а) «P» жүктемесінен үшбұрышты пластинаның есептік сызбасы



б) Үш топсалы контурлық жақтаудағы (M, N) эпюралары («P» жүктемесінен)

2-сурет – Үшбұрышты пластинаның үш қыры бойымен «P» шоғырланған күштерімен жүктелуі

(3) – шекті жүктеу параметрі. $(C^*=q)$ – бірқелкі таралған жүктеме кезінде.

Тор параметрлері (пластина материалының ортотропия қасиеттерін ескере отырып) [11] келесі түрде өрнектеледі:

$$\begin{bmatrix}\psi_1-2k\left[C^2N_x-C(A-B)Nxy_i-(AB-1)\cdot\right.\\ \cdot Ny_i\left.\right]w_i+\left\{\psi_2-k\left[-AC^2Nx_i+C(A-B)\cdot\right.\right.\\ \cdot Nxy_i+ABNy_i\left.\right]\right\}(w_0+w_r)+\left[\psi_3-k\cdot\right.\\ \cdot(+CNxy_i-ANy_i)\left.\right](w_p+w_s)+\left[\varphi_4-k\cdot\right.\\ \cdot(CNxy_i-BNy_i)\left.\right](w_q+w_t)+\psi_5(w_n+w_f)+\\ \psi_6(w_b+w_h)+\psi_7(w_d+w_k)+\psi_8(w_m+w_b)+\\ \psi_9(w_a+w_g)+\psi_{10}(w_\xi+w_j)=0\end{bmatrix} \quad (4)$$

мұндағы ψ_1 мәндері [9] еңбегінде берілген:

Үшбұрышты пластинаның қырлары бойынша шекаралық шарттар соңғы айырымдық түрінде жазылады [9]:

а) пластинаның сол бүйір қыры үшін (1-сурет, а): $w_i=0$; $(Aw_0+Aw_p)=\delta_1(Aw_r+Aw_s)$;

б) оң қыры үшін: $w_i=0$; $(Uw_r+Bw_q)=\gamma_1\cdot(Uw_0+Bw_t)$;

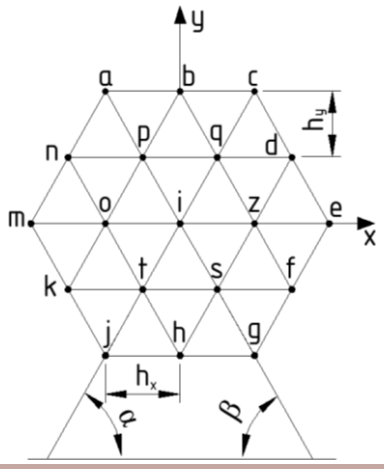
в) үшбұрыш табаны бойындағы қыр үшін: $w_i=0$; $(Aw_s+Bw_t)=\theta_1(Aw_p+Bw_q)$.

Символдық коэффициенттер $(\delta_1,\gamma_1,\theta_1)$ келесі мәндерді қабылдайды:

а) $\delta_1=\gamma_1=\theta_1=$-1,0; – барлық үш қыр еркін тірелген кезде;

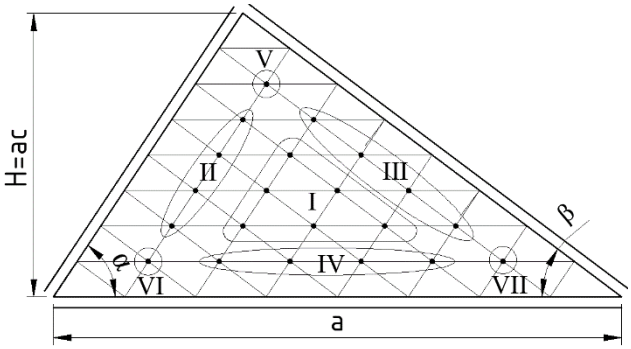
б) $\delta_1=\gamma_1=\theta_1=1{,}0$; – қырлар қатаң тірелген кезде.

Негізгі соңғы-айырымдық теңдеу (1) негізінде, қырлық және қырдан тыс түйіндердегі майысуларды есепке алмау арқылы, әртүрлі қабырғалы үшбұрыштар торы үшін периметр бойымен тірелген үшбұрышты пластиналардың орнықтылығын талдау үшін жеті типтік соңғы айырымдық теңдеу алынған (4-сурет).



3-сурет – Үшбұрышты торға арналған 19 мүшелі үлгі

Мұнда ұсынылған сандық соңғы айырымдық алгоритмнің жұмысын көрсету үшін, тордың аз тығыздығы кезінде $(N=4)$ теңқабырғалы $(\alpha=\beta=60°)$ үшбұрышты пластинаның орнықтылығын зерттеудің сандық мысалы қарастырылды. Пластина-



4-сурет – Үшбұрышты тордың түйіндері үшін типтік соңғы айырымдық теңдеулердің нөмірленуі

ның есептік параметрлері және оны тормен аппроксимдеу мәндері (4-теңдеуге сәйкес) келесідей: $h_x = a/N = 0.25a = 1.2$ м; $h_y = ac/N = 0.2165a = 1.3$ м; $A = B = U = 0.5$; $C = 0.866$; $H = 5.2$ м).

Ортотропты материалдың серпімді тұрақтылық константалары (шартты қабылданған):

$E_1 = 1.5 \cdot 10^5$ кг/см²; $E_2 = 3 \cdot 10^5$ кг/см²; $G = 0.1 \cdot 10^5$ кг/см²; $v_1 = \mu_1 = 0.1$; $v_2 = \mu_2 = 0.2$.

Берілген мәндер бойынша материалдың қаттылық сипаттамалары есептелген [8]:

$$D_1 = (0.1276 \cdot 10^5)t^3;\ D_2 = (0.255 \cdot 10^5)t^3;$$
$$D_k = (0.0083 \cdot 10^5) \text{ кг/см}^2;$$
$$D_3 = D_1 v_2 + 2D_k = (0.04212 \cdot 10^5)t^3 \text{ кг/см}^2.$$

Ортотропия коэффициенттері (2 – теңдеу) бойынша анықталған:

Шекаралық шарттарға сәйкес контурлық және қырдан тыс түйіндегі майысулар есепке алынбаған (2-сурет, б):

$$(Uw_6 + Aw_5) = \delta_1(Uw_3 + Aw_1);$$
$$(Uw_7 + Aw_6) = \delta_1(Uw_1 + Aw_1);\ w_2 = w_3 = w_4 = 0.$$

1-нұсқа: пластинаны 1-сурет, а бойынша есептеу (біртекті кернеулі күй)

а) барлық үш қырдың еркін тірелуі:

$\delta_1 = \gamma_1 = \theta_1 =$ -1.0; $1.6164 - 2K = 0$, мұндағы $K = 0.8082$; $q_{kp} = (12.243D_x)/a^2$.

б) барлық үш қырдың қатаң тірелуі: $\delta_1 = \gamma_1 = \theta_1 = 1.0$; $5.3703 - 2K = 0$, мұндағы $K = 2.6852$; $q_{kp} = (57.2904D_x)/a^2$.

Салыстыру үшін: $q_{kp} = (17.243D)/a^2$ – изотропты теңбүйірлі ұшбұрышты пластина үшін 1,а-суреттегі диаграммаға сәйкес жүктелген кездегі шекті күш.

2-нұсқа: пластинаны 2,а-сурет бойынша жүктеу

Бұл жағдайда орнықтылық есептеуі екі кезеңде жүргізілуі керек:

а) жазық кернеулі күй – $\sigma x_i, \sigma y_i, \tau xy_i$ тор түйіндеріндегі нақты кернеулерді анықтау үшін:

б) орнықтылық мәселесі – негізгі соңғы-айырымдық теңдеу (1) негізінде.

Есептеудің 1-ші кезеңі: үшбұрышты пластинаның жазық кернеулі күйін зерттеу (2-сурет, а) әртүрлі қабырғалы үшбұрыштар торы негізінде жүргізіледі.

Ортотропты пластиналардың жазық кернеулі күйінің бастапқы дифференциалдық теңдеуі кернеу функциясы арқылы $(F = F(x, y))$ келесі түрде жазылады [8]:

$$\frac{\partial^4 F}{\partial x^4} + \alpha_0 \frac{\partial^4 F}{\partial x^2 \partial y^2} + \beta_0 \frac{\partial^4 F}{\partial y^4} = 0. \qquad (5)$$

Әртүрлі қабырғалы үшбұрыштар торының і-ші түйіні үшін $(\alpha \neq \beta)$ (3-сурет) соңғы-айырымдық аппроксимация (5) [11] еңбегінде қабылданғандай алынады.

Кернеу функцияларының мәндері анықталғаннан кейін, үшбұрышты тордың і-ші түйініндегі кернеулер (3-сурет) келесі түрде жазылады [11].

Пластинаны 2-сурет, а схемасы бойынша жүктеген кезде шекаралық шарттарды жазу үшін эпюралары (M_i, N_i) 2-сурет, б-де көрсетілген.

Есептік түйін үшін теңдеуді ($i = 1$, 2-сурет, а) жазғаннан кейін шешуші соңғы-айырымдық теңдеу алынады.

Содан кейін $i = 1$ түйініндегі кернеулер есептеледі (2-сурет, а).

$$\sigma x_1 = -1,813\frac{P}{a};\ \sigma y_1 = 2,55\frac{P}{a};\ \tau xy_1 = 0, \qquad (6)$$

(6) – яғни, пластинаны 2-нұсқа бойынша (2-сурет, а) жүктегенде, тіпті теңқабырғалы үшбұрышты пластинаның пішіні мен өлшемдері симметриялы болса да, біртекті емес жазық кернеулі күй қалыптасады.

Есептеудің 2-ші кезеңі: 2-сурет, а бойынша пластинаның орнықтылығын шешу.

Орнықтылық теңдеулері (4) (кернеулер мен күштерді (6) ескере отырып) келесі түрде жазылады:

а) Барлық үш қырдың еркін тірелуі бойынша контур бойымен:

$$1,6164 - 5,13725K = 0.\ P_{kp} = 6,7204\frac{D_x}{a}. \qquad (7)$$

б) Үшбұрышты пластинаның контур бойымен қатаң тірелуі

$$5,3703 - 5,13725K = 0.\ P_{kp} = 22,302\frac{D_x}{a}. \qquad (8)$$

Келесіде, авторлық машиналық есептеу бағдарламасы негізінде, симметриясыз пішінді $(\alpha \neq \beta)$ ортотропия коэффициенттерін $(\alpha_0$ және $\beta_0)$ өзгертіп үшбұрышты тордың тығыздығы $N = 8$ болған жағдайда ортотропты үшбұрышты пластиналардың орнықтылығын зерттейміз.

1-кестеде екі шекаралық шарт нұсқасы

бойынша есептеудің кешенді нәтижелері берілген: 1) барлық үш қырдың еркін тірелуі; 2) барлық үш қырдың қатаң тірелуі.

Ортотропия коэффициенттері тұрақты болған жағдайда $(\alpha_0=0{,}66;\ \beta_0=2{,}0)$ жүктеме параметрі «K» бұрыш мәндерінің α және β әсері қарастырылған: симметриясыз үшбұрышты пластиналар үшін $(\alpha=\beta=20°,\ 30°,\ 40°,\ 50°,\ 60°)$; симметриясыз үшбұрышты пластиналар үшін $(\beta=15°=\text{const})$; ол жағдайда α 150°-ден 600°-ге дейін 150° қадаммен өзгереді. Теңқабырғалы үшбұрышты пластина үшін $(\alpha=\beta=60°)$ ортотропия параметрлерін өзгерткен кезде «K» мәнінің өзгерісі зерттелген $(\beta_0=2{,}0$ тұрақты; $\alpha_0=0{,}22;\ 0{,}44;\ 0{,}66;\ 0{,}88)$.

Кестедегі деректер бойынша 5 және 6-суреттерде жүктеме параметрі «K» мен ортотропия параметрлері (α_0, β_0), бұрыш мәндері $(\alpha$ және $\beta)$, сондай-ақ, үшбұрышты пластиналардың қырлары бойынша әртүрлі шекаралық шарттар арасындағы графикалық тәуелділіктер көрсетілген.

Қорытынды

1. Жұмыста пішіні дұрыс емес үшбұрышты $(\alpha\neq\beta)$ ортотропты пластиналардың орнықтылығы зерттелді.

2. Әртүрлі параметрлерді өзгерте отырып, әрқилы қабырғалы үшбұрыштар торын пайдалану арқылы соңғы айырымдар әдісімен шекті жүктемелер анықталды.

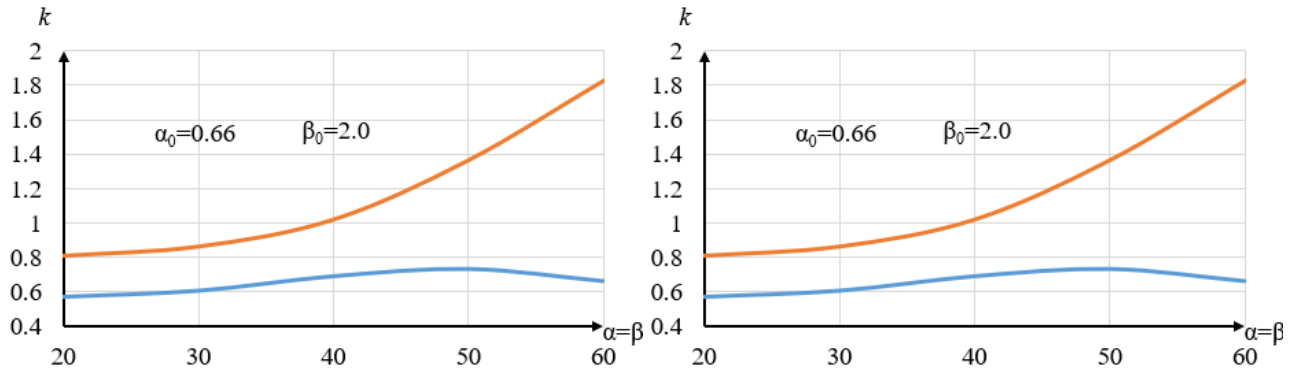
3. Үшбұрышты тор параметрлерін ескеретін негізгі соңғы айырымдық теңдеулер және периметр бойымен үздіксіз тірелу жағдайындағы шекаралық шарттар үшін айырымдық өрнектер алынды.

4. Мысал ретінде тордың аз бөлінуі кезінде $(N=4)$ теңқабырғалы үшбұрышты пластинаның $(\alpha=\beta=60°)$ орнықтылығын «машинасыз» есептеу қарастырылды. Бұл теориялық қағидаларды растады. Материал ортотропиясының орнықтылыққа күрделі әсер ететіні анықталды: тіпті изотропты материалдарға тән теңқабырғалы пластиналар үшін де медианаларға қатысты физикалық симметрия бұзылады.

5. Ұсынылған теориялық және практикалық нәтижелер, әсіресе симметриясыз пішінді ортотропты үшбұрышты пластиналардың орнықтылығы жөніндегі білімді кеңейтеді және физикалық немесе конструктивтік ортотропияны ескере отырып, есептерді шешуде ғалымдар мен жобалаушы-инженерлер үшін пайдалы болады.

Бастапқы деректерді өзгерту кезінде жүктеме параметрлерінің (К) мәндері

Шекті шарттардың түрі	Ортотропия коэффициенттерінің мәндері: α_0=0.66; β_0=2.0									Бұрыштар (α=β=60°)		
	Бұрыштардың мәндері (α=β) айнымалы					(β=15°)=const				(β_0=2.0)=const		
	α=20°	α=30°	α=40°	α=50°	α=60°	α=15°	α=30°	α=45°	α=60°	α_0=0.22	α_0=0.44	α_0=0.88
Қырлардың еркін тірелуі	0.5687	0.6056	0.6929	0.7367	0.6631	0.5619	0.4802	0.5822	0.6897	0.5377	0.6003	0.7261
Қырлардың қатаң тірелуі	0.8075	0.8608	1.0175	1.3622	1.8239	0.7980	0.6754	0.7975	0.9754	1.7156	1.7677	1.8828



а) К=f(α=β) б) К=f(α) (β=15°)=const

5-сурет – Тәуелділіктер

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Fernandes J.R., Venturini W.S. Stiffened plate bending analysis by the boundary element method. Computational mechanics 28 (2002). Pp. 275-281.
2. Tyukalov Yu.Ya. Method of plates stability analysis based on the moments approximations. Magazine of Civil Engineering. 2020. 95 (3). Pp. 90-103. DOI: 10.18720/MCE.95.9.
3. L.G. Nallim, B.M. Luccioni and R.O. Grossi, Vibration of general triangular composite plates with elastically restrained edges, Thin-Walled Structures, 43 (2005) 1711-1745.
4. Wang, X., Yuan, Z. Buckling analysis of isotropic skew plates under general in-plane loads by the modified differential quadrature method. Applied Mathematical Modelling. 2018. Vol. 56. Pp. 83-95.
5. Li, S., Hu, Z., Benson, S. An analytical method to predict the buckling and collapse behaviour of plates and stiffened panels under cyclic loading. Engineering Structures. 2019. Vol. 199. Article 109627.
6. Ullah, S., Zhong, Y., Zhang, J. Analytical buckling solutions of rectangular thin plates by straightforward generalized integral transform method. International Journal of Mechanical Sciences. 2019. Vol. 152. Pp. 535-544.
7. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. – М.: Наука, 1967. – 984 с.
8. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин. – М.: Наука (физматгиз), 1967. – 268 с.
9. Вайнберг Д.В. Справочник по прочности, устойчивости и колебаниям пластин. – Киев: Будівельник, 1973. – 488 с.
10. Варвак П.М., Варвак Л.П. Метод сеток в задачах расчета строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1977. – 154 с.
11. Ахмедиев С.К. Расчеты треугольных пластин. – Караганда: КарГТУ, 2006. – 88 с.

Проблемы устойчивости треугольных пластин со свойствами ортотропии

[1]НУГУЖИНОВ Жмагул Смагулович, *д.т.н., директор института, kazmirr@mail.ru,*
[2]АХМЕДИЕВ Серик Кабултаевич, *к.т.н., профессор, s_ahmediev@mail.ru,*
[2]МИХАЙЛОВ Валентин Феликсович, *к.т.н., доцент, v.mihaylov@kstu.kz,*
[2]*БЕКЕТОВА Молдир Сайлаубековна, *докторант, moldir-9292@mail.ru,*
[3]ХАБИДОЛДА Омирхан, *PhD, ассоциированный профессор, oka-kargtu@mail.ru,*
[1]Казахстанский многопрофильный институт реконструкции и развития,
пр. Н. Назарбаева, 56/6, Караганда, Казахстан,
[2]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[3]НАО «Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова», ул. Университетская, 28, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Исследована устойчивость ортотропных треугольных пластин при различных нагрузках и условиях опирания с помощью численного метода конечных разностей на треугольной сетке. Определены критические нагрузки с учетом углов наклона кромок, коэффициентов ортотропии и граничных условий. Разработан автоматизированный метод анализа, проведены расчеты для равносторонних и несимметричных пластин. Установлено сложное влияние ортотропии, особенно на несимметричные формы, где нарушается симметрия напряжённого состояния. Критические нагрузки рассчитаны для разных типов нагружения, геометрии (углы α и β), коэффициентов ортотропии (a_0, β_0) и типов опирания (жесткое или свободное). Результаты представлены в таблицах и графиках, подтверждены расчетами и применимы при проектировании тонкостенных ортотропных конструкций.*

Ключевые слова: *ортотропный материал, треугольная пластина, метод конечных разностей, треугольная сетка, прогибы и усилия в срединной поверхности.*

Stability Problems of Triangular Plates with Orthotropy Properties

[1]NUGUZHINOV Zhmagul, *Dr. of Tech. Sc., Director of Institute, kazmirr@mail.ru,*
[2]AKHMEDIYEV Serik, *Cand. of Tech. Sc., Professor, s_ahmediev@mail.ru,*
[2]MIKHAILOV Valentin, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, v.mihaylov@kstu.kz,*
[2]*BEKETOVA Moldir, *Doctoral Student, moldir-9292@mail.ru,*
[3]KHABIDOLDA Omirkhan, *PhD, Associate Professor, oka-kargtu@mail.ru,*
[1]Kazakhstan Multidisciplinary Institute for Reconstruction and Development, 56/6 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[3]NPLC «Karaganda National Research University named after Academician E.A. Buketov», 28 University Street, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The stability of orthotropic triangular plates under various loadings and support conditions was studied. Due to the complexity of the geometry and material properties, the calculations were performed using a numerical finite difference method with a triangular mesh. Critical loads, edge inclination angles, orthotropy coefficients, and boundary conditions were taken into account. An automated stability analysis method was developed to study changes in initial parameters. Calculations were conducted for equilateral as well as asymmetric triangular plates. It was found that orthotropy has a complex effect on stability, especially for asymmetric plates where the physical symmetry of the stress-strain state is disrupted. Critical loads were calculated for different types of loading (uniformly distributed or concentrated forces), geometric configurations (angles α and β), orthotropy coefficients (α_0, β_0), and types of support (rigid or free edge fixation). The results are presented in tables and graphs, validated by computational analysis, and can be applied in the design of thin-walled orthotropic structures.*

Keywords: *orthotropic material, triangular plate, finite difference method, triangular mesh, deflections and forces in the medial surface.*

REFERENCES

1. Fernandes J.R., Venturini W.S. Stiffened plate bending analysis by the boundary element method. Computational mechanics 28 (2002). Pp. 275-281.
2. Tyukalov Yu.Ya. Method of plates stability analysis based on the moments approximations. Magazine of Civil Engineering. 2020. 95 (3). Pp. 90-103. DOI: 10.18720/MCE.95.9.
3. L.G. Nallim, B.M. Luccioni and R.O. Grossi, Vibration of general triangular composite plates with elastically restrained edges, Thin-Walled Structures, 43 (2005). 1711-1745.
4. Wang, X., Yuan, Z. Buckling analysis of isotropic skew plates under general in-plane loads by the modified differential quadrature method. Applied Mathematical Modelling. 2018. Vol. 56. Pp. 83-95.
5. Li, S., Hu, Z., Benson, S. An analytical method to predict the buckling and collapse behaviour of plates and stiffened panels under cyclic loading. Engineering Structures. 2019. Vol. 199. Article 109627.
6. Ullah, S., Zhong, Y., Zhang, J. Analytical buckling solutions of rectangular thin plates by straightforward generalized integral transform method. International Journal of Mechanical Sciences. 2019. Vol. 152. Pp. 535-544.
7. Vol`mir A.S. Ustojchivost` deformiruemy`x sistem. – Moscow: Nauka, 1967. – 984 p.
8. Ambarczumyan S.A. Teoriya anizotropny`x plastin. – Moscow: Nauka (fizmatgiz), 1967. – 268 p.
9. Vajnberg D.V. Spravochnik po prochnosti, ustojchivosti i kolebaniyam plastin. – Kiev: Budivel`nik, 1973. – 488 p.
10. Varvak P.M., Varvak L.P. Metod setok v zadachah rascheta stroitel'nyh konstrukcij. – Moscow: Strojizdat, 1977. – 154 p.
11. Ahmediev S.K. Raschety treugol'nyh plastin. – Karaganda: KarGTU, 2006. – 88 p.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_170 ӘОЖ 693.2

Қызылорда қаласының климаттық жағдайында қоршау конструкциялары үшін тиімді жылытқыштарды таңдау

[1]*ЖАПАХОВА Акмарал Утешевна, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, zhapakhova@mail.ru,
[1]БАЙТАСОВ Камалбек, т.ғ.к., доцент, kbaitasov@mail.ru,
[2]КЕЛМАҒАМБЕТОВ Нұрлыбек Кішпанұлы, т.ғ.к., кафедра меңгерушісі, nurlibek_70_70@mail.ru,
[1]МҰСТАФА Әбілхайырхан Нартайұлы, магистрант, Clisaac96@gmail.com,
[1]СЕЙТМАҒАНБЕТ Назым Сейтмағанбетқызы, студент, nazko1998.26@gmail.com,
[1]«Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КеАҚ, Әйтеке би көшесі, 29а, Қызылорда, Қазақстан,
[2]Болашақ университеті, Сол Жағалау шағын ауданы, 115, Қызылорда, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Қазіргі уақытта пайдалану сипаттамалары жоғары, тиімді жылытқыштар қажеттілігінің артуы байқалады. Жылытқыш көп қабатты қоршау конструкцияларында жылу шығындарын азайтудың, сондай-ақ, ғимаратты жылытуға жұмсалатын қаржылық шығындарды қысқартудың тиімді құралы болып табылады. Жылу шығындарының көп бөлігі қабырғалардың қоршау конструкцияларына қатысты, сондықтан құрылыстағы танымал жылытқыштарды салыстырмалы талдау өзекті тақырып болып табылады. Зерттеудің мақсаты салыстырмалы талдау негізінде Қызылорда қаласының климаттық жағдайында көп қабатты қоршау конструкциялары үшін ең тиімді жылытқышты таңдау болып табылады. Зерттеу барысында жылытқышты есептеу үшін алынған көптеген жылытқыштар ішінен П-75 маркалы минералды мақта жылытқыш ретінде қолданудың толық экономикалық орындылығын қамтамасыз ететіні есептік жолмен анықталды. ELCUT бағдарламалық кешенінің көмегімен қабырға конструкциясында пайда болатын жылу шығындары есептелді.*

Кілт сөздер: *энергоресурстар, қоршау конструкциялары, жылытқыштар, энергия үнемдейтін, жылуөткізгіштік коэффициенті.*

Кіріспе

Отын энергоресурстарын пайдалану тиімділігін арттыру және елді энергия үнемдейтін даму жолына шығару еліміздің энергетикалық стратегиясының басым міндеті болып табылады. Күрделі құрылыста жылуэнергиясын үнемдеудің ең тиімді жолы ғимараттардың қоршау конструкциялары арқылы жылу шығынын азайту, олардың жылу қорғау деңгейін арттыру болып табылады. Соңғы жылдары нормативтік талаптардың жоғарылауына байланысты азаматтық құрылыс жылуөткізгіштік коэффициенті 0,06 Вт/(м·°С) дейін тиімді жылуоқшаулағыш материалды қолдана отырып, қоршау конструкциялары көп қабатты ғимараттарды салуға бағытталған.

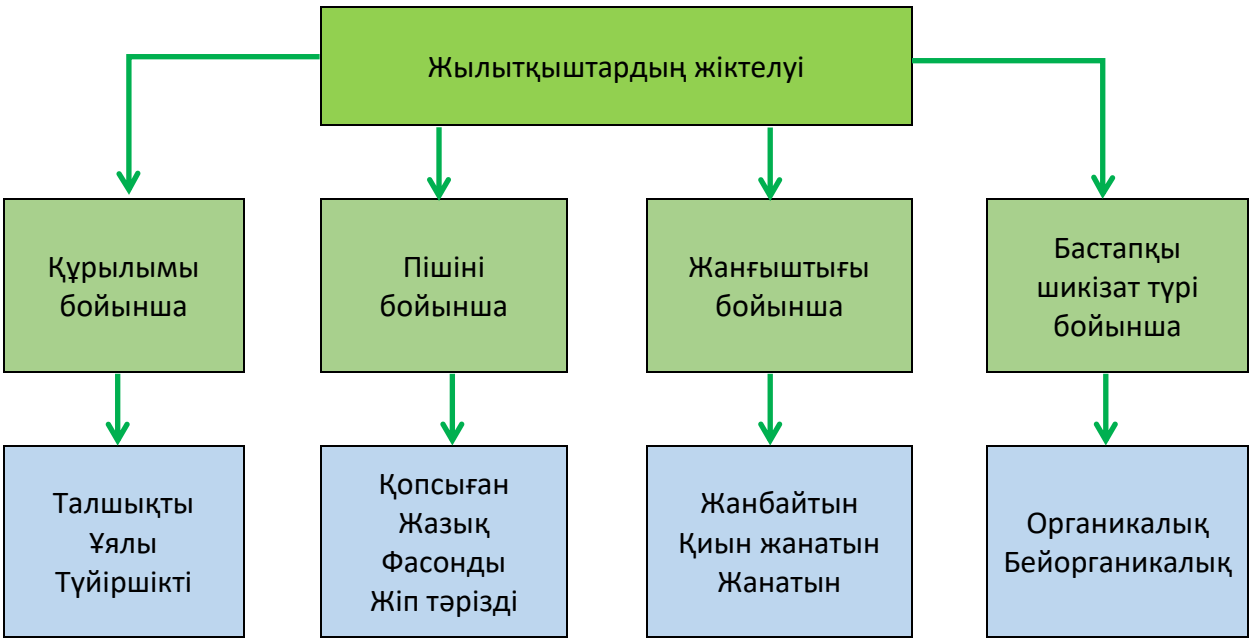
Жылытқыш көп қабатты қоршау конструкцияларындағы жылу шығынын азайтудың, сондай-ақ, ғимаратты жылытуға арналған қаржылық шығындарды азайтудың тиімді құралы болып табылады.

[1-2] жұмыстарда авторлар 1-суретте көрсетілген қоршау конструкцияларында қолданылатын танымал жылытқыш түрлерін атап өтеді.

Жылу шығынының көп бөлігі қабырға қоршау конструкцияларына сәйкес келеді [3], сондықтан құрылыстағы танымал жылытқыштарды салыстырмалы талдау өзекті тақырып болып табылады.

Жұмыстың мақсаты: салыстырмалы талдау негізінде Қызылорда қаласының климаттық жағдайында көп қабатты қоршау конструкциялары үшін ең тиімді жылытқыштарды таңдау.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы: ғимараттарды стационарлық емес жағдайларда жылу қорғаудың тиімділігін бағалау және жобалаудың жаңа әдісін әзірлеу арқылы Қы-



1-сурет – Жылытқыштардың жіктелуі

зылорда қаласының климаттық жағдайында көп қабатты қоршау конструкциялары үшін танымал жылытқыштарды пайдаланудың экономикалық және жылу техникалық орындылығы дәлелденді.

Зерттеу әдістері

Жылу шығынын бағалау ғимараттардың энергия тиімділігін қамтамасыз етудің негізгі факторы болып табылады, бұл оның қазіргі жағдайда жоғары өзектілігін анықтайды. Бұл мәселе энергия тұтынуды және қоршаған ортаға зиянды әсерді азайту жөніндегі жаһандық үрдістер контекстінде ерекше маңызға ие болады. Қоршау конструкциялары арқылы жылу шығыны үй-жайлардағы қолайлы микроклиматты сақтауға жұмсалатын энергия шығындарын анықтайтын негізгі фактор болып табылады. Осыған байланысты жылу шығынын азайту арқылы ғимараттардың жылу қорғау қасиеттерін оңтайландыру қазіргі нормативтік мәндерге қол жеткізуге ықпал ете отырып, энергия тиімділігінің көрсеткіштеріне тікелей әсер етеді.

ELCUT жүйесі жылу процестерін сандық модельдеу мен талдауға арналған бағдарламалық кешен. Бұл бағдарламалық жасақтама мүмкіндіктердің кең спектрімен және есептеулердің жоғары дәлдігімен сипатталады, бұл оның инженерлік тәжірибеде кеңінен қолданылуын қамтамасыз етеді.

Жылу процестерін модельдеу бөлігінде ELCUT әртүрлі құрылымдар мен жүйелердегі температура өрістерінің, жылу ағындарының және жылу алмасудың таралуын жан-жақты талдауға мүмкіндік береді.

Ғылыми нәтижелер. Көп қабатты қабырғаның жылу-техникалық есебі келесі нормативтік құжаттамалар талаптарына сәйкес жүргізілді:

ҚР ЕЖ 2.04-106-2012. Ғимараттардың жылу қорғанысын жобалау [4];

ҚР ЕЖ 2.04-01-2017. Құрылыс климатологиясы [5];

ҚР ҚН 2.04-04-2011 Ғимараттарды жылудан қорғау [6];

Қызылорда құрғақ ылғалдылық аймағындағы пунктке жатады, ал бөлменің ылғалдылық режимі қалыпты, сондықтан материалдардың жылу техникалық сипаттамалары А пайдалану жағдайлары үшін (2-кесте [6]) қабылданатын болды. Зерттелетін объектілердің құрылысы үлгілік болып табылатынын және зерттеуге қатысатын барлық объектілердің қабырғаларының қоршау конструкциялары бірдей схема бойынша құрастырылғанын ескере отырып, зерттелетін объектілердің қабырғаларының қоршау конструкцияларының жылу техникалық есебі қабырға қимасына сәйкес жүргізілді. Қабырға конструкциясы қарапайым сазды кірпіштен, конструкция қабаттардың ортасындағы жылытқыштан, қаптама сазды кірпіштен тұрады. Жылытқыш пен қаптама арасында ауа қабаты бар. Қабаттардың қалыңдығы, қабат жасалған материалдың меншікті жылу сыйымдылығы және тығыздығы және конструкция қабаты жасалған материалдың жылу өткізгіштік коэффициенті 1-кестеде көрсетілген.

1-нұсқа. ПСБ-С-М-25 пенополистирол

жылытқышы бар объект қабырғасының қоршау конструкциясының жылутехникалық есебі. Нысан орналасқан мекен жайы: Мұз айдыны №2.

2-нұсқа. Жылытқышы П-75 минералды мақта объект қабырғасының қоршау конструкциясының жылутехникалық есебі. Нысан орналасқан мекен жайы: Сол жағалау №25.

ELCUT жүйесінде жылу жоғалтуды есептеу

Ғимарат қабырғаларының көп қабатты қоршау конструкциялары үшін тиімді жылытқышты ұтымды таңдау үшін қабырға конструкцияларында пайда болатын жылу жоғалтуды есептеу керек. ELCUT бағдарламалық кешенінің көмегімен әртүрлі танымал жылытқыштардың түрлері бар қабырға модельдері жасалды және жылытқыштың екі түрінің әрбір түрі кезінде жылу жоғалту процестері модельденді.

Ғимараттағы жылу ағыны мен максималды температураны ELCUT бағдарламасы бо-

1-кесте – Зерттелетін объектілер қабырғаларының көп қабатты қоршау конструкцияларының құрамы

Қабат атауы	δ, м	λ, (Вт/м·°С)	ρ, кг/м³	C_0, кДж/(кг·°С)
Кәдімгі сазды кірпіштен қалау	0,12	0,56	1800	0,88
Пенополистирол ПСБ-С-М-25	0,14	0,038	18,5	1,25
Минералды мақта П-75		0,047	75	0,84
Ауа қабаты	0,02	0,0259		1
Қуысты сазды кірпіштен қаптама қалау	0,51	0,56	1800	0,88

2-сурет – Мұз айдыны №2 мекен жайы бойынша зерттеу объектісінің фотосуреті

2-кесте – Қабырға құрамы

№	Материал атауы	C_0, кДж/(кг·°С)	δ, м	λ, Вт/м·°С
1	Кәдімгі сазды кірпіштен қалау	0,88	0,51	0,56
2	Пенополистирол ПСБ-С-М-25	1,25	0,14	0,038
3	Ауа қабаты	1	0,02	0,0259
4	Кәдімгі сазды кірпіштен қаптама қалау	0,88	0,12	0,81

3-сурет – Сол жағалау №25 мекен жайы бойынша зерттеу объектісінің фотосуреті

3-кесте – Қабырға құрамы

№	Материал атауы	C_0, кДж/(кг·°С)	δ, м	λ, Вт/м·°С
1	Кәдімгі сазды кірпіштен қалау	0,88	0,51	0,56
2	Минералды мақта П-75	0,84	0,14	0,047
3	Ауа қабаты	1	0,02	0,0259
4	Кәдімгі сазды кірпіштен қаптама қалау	0,88	0,12	0,81

4-кесте – Жылутехникалық есептеу нәтижелері

Объект мекен жайы және жылытқыш атауы	Жылу беруге есептік кедергі	Жылу беруге нормаланатын кедергі	Жылу беру бойынша талаптар
Мұз айдыны №2 Пенополистирол ПСБ-С-М-25	4,8	3,58	сәйкес келеді
Сол жағалау №25 Минералды мақта П-75	5,2		сәйкес келеді

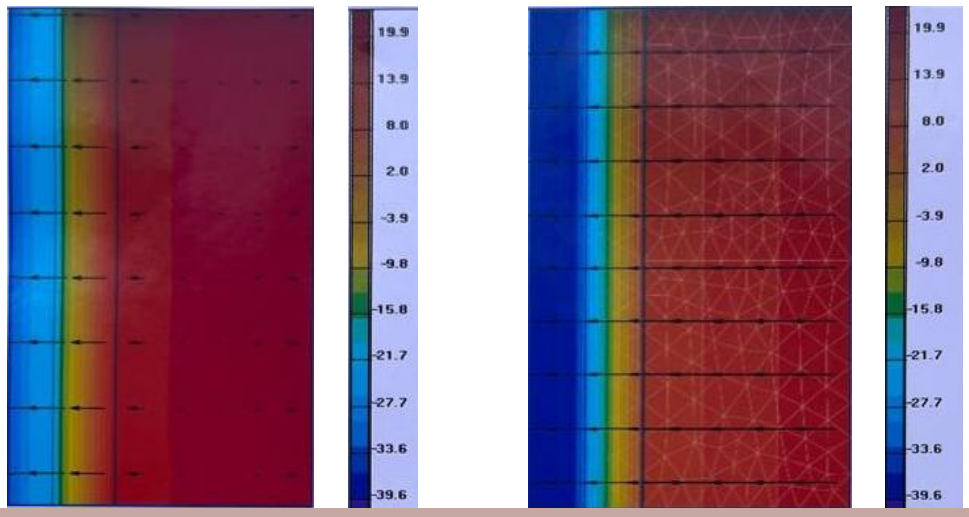
йынша есептеу нәтижелері 5-кестеде келтірілген.

Жылуоқшаулағыш материалдардың экономикалық тиімділігін есептеу нәтижелері 6-кестеде көрсетілген.

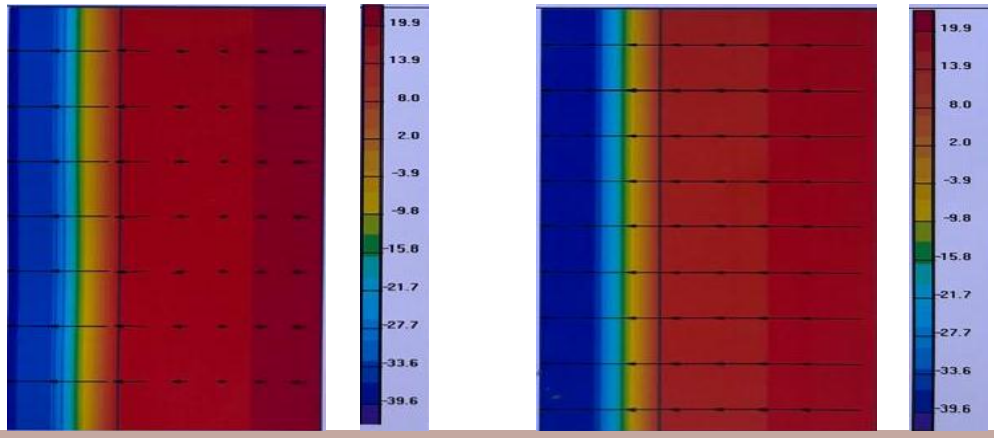
Есептеулердің нәтижелері бойынша П – 75 минералды мақта екі шартты да толық қанағаттандыратындығын және қабырғалардың қоршау конструкциялары үшін жылытқыш ретінде қолданудың толық экономикалық орындылығын қамтамасыз ететіндігін байқауға болады. Жылытқыштың екінші нұсқасы салыстырмалы экономикалық орындылықты қамтамасыз етеді және тапсырыс берушімен келісілген жағдайда ғана қолдануға ұсынылады.

Қорытынды

Есептеу нәтижесінде есептеу үшін алынған жылытқыштардың ішінен П-75 минералды мақтаның қабырғалардың көп қабатты қоршау конструкциялары үшін жылытқыш ретінде қолданудың толық экономикалық орындылығын қамтамасыз ететіндігі анықталды. Жылытқыштардың қалған нұсқалары салыстырмалы экономикалық орындылықты қамтамасыз етеді және тапсырыс берушімен келісілген жағдайда ғана қолдануға ұсынылады.



4-сурет – ELCUT бағдарламалық кешенінде ПСБ-С-М-25 пенополистирол жылытқышпен есептеу нәтижелері



5-сурет – ELCUT бағдарламалық кешенінде П-75 минералды мақта жылытқышпен есептеу нәтижелері

5-кесте – ELCUT бағдарламасы бойынша есептеу нәтижелері

№ п/п	Қабырға конструкциясындағы жылытқыш атауы	Жылу ағыны, Вт	Ғимараттағы максимальді температура
1	Пенополистирол ПСБ-С-М-25	11,58	19,6
2	Минералды мақта П-75	12,5	19,4

6-кесте – Тиімді жылытқышты таңдаудың экономикалық орындылығы

№	Жылытқыш атауы	$C_т$, (тн/м³)	$\lambda_т$ (Вт/м·°С)	Dd, °С·тәулік	$R_{норм}$	R_o	r	α_1	α_2	$C_т$, $\lambda_т$	n
1	Пенополистирол ПСБ-С-М-25	2660	0,038	6221,7	3,58	1,42	0,92	12,23	8,08	43,1	1
2	Минералды мақта П-75	7500	0,047	6221,7	3,58	1,42	0,92	12,23	8,08	20,3	1

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Аманова Б.Н. Анализ современных высокоэффективных теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях зданий Западно-Казахстанской области // Восточно-Европейский научный журнал. № 3 (88). Польша (Варшава), Россия. 2023. – С. 48-54 (орысша).
2. Чакин Е.Ю. Энергоэффективные теплоизоляционные материалы для ограждающих стеновых конструкций // Инженерные исследования. – 2022. – № 1 (6). – С. 9-14 (орысша).
3. Байгильдина А.А., Микрюкова А.А., Чурина И.А. Сравнительный анализ самых популярных утеплителей в строительстве // Журнал «Фотинские чтения». № 1 (9). – 2018. – С. 200-207. EDN YWWKHL (орысша).
4. ҚР ЕЖ 2.04-106-2012. Ғимараттардың жылу қорғанысын жобалау. Астана, 2015 https://uyushma.uz/f/20210429_1_sp_rk_204-106-2012_proektirovanie_teplovoj_zashchity.pdf
5. ҚР ЕЖ 2.04-01-2017. Құрылыс климатологиясы Астана, 2017 https://igis.kz/images/snip/stroitelnye-normativy/sp-rk-2.04-01-2017-stroitelnaya-klimatologiya.pdf
6. ҚР ҚН 2.04-04-2011 Ғимараттарды жылудан қорғау https://hoffmann.kz/files/12_SN_RK_2-04-04-2011.pdf

Выбор эффективных утеплителей для ограждающих конструкций в климатических условиях города Кызылорды

[1]*ЖАПАХОВА Акмарал Утешевна, *к.т.н., ассоциированный профессор, zhapakhova@mail.ru,*
[1]БАЙТАСОВ Камалбек, *к.т.н., доцент, kbaitasov@mail.ru,*
[2]КЕЛМАҒАМБЕТОВ Нұрлыбек Кішпанұлы, *к.т.н., зав. кафедрой, nurlibek_70_70@mail.ru,*
[1]МҰСТАФА Әбілхайырхан Нартайұлы, *магистрант, Clisaac96@gmail.com,*
[1]СЕЙТМАҒАНБЕТ Назым Сейтмағанбетқызы, *студент, nazko1998.26@gmail.com,*
[1]НАО «Кызылординский университет имени Коркыт Ата», ул. Айтеке би, 29а, Кызылорда, Казахстан,
[2]Университет Болашак, микрорайон Левый Берег, 115, Кызылорда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В настоящее время существует тенденция увеличения потребности в эффективных утеплителях, которые обладают высокими эксплуатационными характеристиками. Утеплитель является эффективным инструментом снижения тепловых потерь в многослойных ограждающих конструкциях, а также сокращения финансовых расходов на отопление здания. Большая часть тепловых потерь приходится на ограждающие конструкции стен, поэтому сравнительный анализ популярных утеплителей в строительстве является актуальной темой. Целью исследования является выбор наиболее эффективного утеплителя для многослойных ограждающих конструкций в климатических условиях города Кызылорды на основе сравнительного анализа. В процессе исследования установлено расчетным путем, что из всего большинства выбранных для расчёта утеплителей минеральная вата П-75 обеспечивает полную экономическую целесообразность применения в качестве утеплителя. С помощью программного комплекса Elcut были рассчитаны теплопотери, возникающие в конструкциях стен.*

Ключевые слова: *энергоресурсы, ограждающие конструкции, утеплители, энергосберегающий, коэффициент теплопроводности.*

Selection of Effective Heaters for Enclosing Structures in the Climatic Conditions of the City of Kyzylorda

1*ZHAPAKHOVA Akmaral, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, zhapakhova@mail.ru,*
1BAITASOV Kamalbek, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, kbaitasov@mail.ru,*
[2]KELMAGAMBETOV Nurlybek, *Cand. of Tech. Sc., Head of Department, nurlibek_70_70@mail.ru,*
[1]MUSTAFA Abilkhaiyrkhan, *Master's Student, Clisaac96@gmail.com,*
[1]SEITMAGANBET Nazym, *Student,nazko1998.26@gmail.com,*
[1]NPJSC «Korkyt Ata Kyzylorda University», 29a Aiteke bi Street, Kyzylorda, Kazakhstan,
[2]Bolashak University, 115 Left Bank Microdistrict, Kyzylorda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *At present, there is a tendency to increase the need for efficient heaters that have high operational characteristics. The heater is an effective instrument for reducing heat losses in multi-layered enclosing structures, as well as reducing financial costs for heating the building. Most of the thermal losses are accounted for by the enclosing structures of the walls, so the comparative analysis of popular heaters in construction is a relevant topic. The purpose of the study is the selection of the most effective insulation for multi-layered enclosing structures in the climatic conditions of the city of Kyzylorda based on comparative analysis. In the process of research, it was established by calculation that out of all the majority selected for the calculation of insulation, mineral wool P-75 provides full economic expediency of application as insulation. With the help of the Elcut software complex, the heat losses occurring in the wall structures were calculated.*

Keywords: *energy resources, enclosing structures, insulation, energy saving, thermal conductivity coefficient.*

REFERENCES

1. Amanova B.N. Analysis materiarum insulationis thermalis modernarum valde efficacium in involucris aedificiorum in regione Kazachstaniae occidentalis // Acta Scientifica Europaea Orientalis. No. 3 (88). Polonia (Varsovia), Russia. 2023. – Pp. 48-54 (Russice).
2. Baigildina A.A., Mikryukova A.A., Churina I.A. Analysis comparativa materiarum insulationis in constructione popularissimarum // Acta «Fotinskie chteniya». No. 1 (9). – 2018. – Pp. 200-207. EDN YWWKHL (Russice).
3. Chakin E.Yu. Materiae insulationis thermalis efficaces energiae ad structuras parietum claudendas // Investigationes ingeniariae. – 2022. – No. 1 (6). – Pp. 9-14 (Russice). https://storage.ektu.kz/nextcloud/index.php/s/ydYEzwKRispwoeT
4. RK EZ 2.04-106-2012. Designatio tutelae thermalis aedificiorum. Astana, 2015. https://uyushma.uz/f/20210429_1_sp_rk_204-106-2012_proektirovanie_teplovoj_zashchity.pdf
5. RK EZ 2.04-01-2017. Climatologia constructionis, Astana, 2017. https://igis.kz/images/snip/stroitelnye-normativy/sp-rk-2.04-01-2017-stroitelnaya-klimatologiya.pdf
6. RK EZ 2.04-04-2011 Protectio aedificiorum contra calorem https://hoffmann.kz/files/12_SN_RK_2-04-04-2011.pdf

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_177 UDC 674.817

Structural Solution of Roofing Applying Sheet-plates

[1]**OMAROV Zhumabek,** *PhD, Associate Professor, zhumabek-omarov@mail.ru,*
[2]***TLEULENOVA Gulshat,** *PhD, Associate Professor, gulshattleulenova7@gmail.com,*
[1]**MAKASHEV Kuanysh,** *PhD, Senior Lecturer, m.kuanysh87@mail.ru,*
[1]**ZHUKENOVA Gulnara,** *PhD, Associate Professor, gulnara-home@mail.ru,*
[3]**ABDRAKHMANOVA Kalamkas,** *PhD, Associate Professor, kagaip@mail.ru,*
[1]NCJSC «Toraighyrov University», 64 Lomov Street, Pavlodar, Kazakhstan,
[2]NPJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», 2 Satpayev Street, Astana, Kazakhstan,
[3]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The demand for advanced building materials has grown due to new requirements for the thermal resistance of enclosing and load-bearing structures. This study explores energy-efficient and cost-effective solutions in industrial and construction sectors. The authors investigated how long-term loading affects the mechanical properties of particleboard. The analysis of extended static testing provided important insights into the material's durability. Additionally, the research contributes not only to increasing the production of heat-insulating materials but also to addressing the issue of wood waste utilization. The design of materials and structures using wood waste takes into account the physical and mechanical properties of the wood filler and the overall wood structure. The study indentifies key benefits of modern technologies in the manufacturing and construction of buildings using composite wood – based materials. Based on their findings, the authors suggest using cement-bonded particleboards for roofing structures with sheet the roof slope.*

Keywords: *mechanical properties, wood structure, issue, sheet, roof slope, building materials, industrial sector.*

Introduction

The purpose of this study is to develop a roof structure applying cement-bonded particle boards (CBPB), conduct a comprehensive analysis of its stress-strain state and establish an approximate method for calculating its strength and deformability on an elastic foundation. CBPB, which serve both load-bearing and enclosing functions are used in the roofing of low-rise and manor houses. A numerical and experimental investigation was conducted to analyze the stress-strain behavior of the roof structure, treating CBPB as a transversely isotropic plate supported by elastically deformable wooden battens. The study included calculations for both strength and deformability (first and second limit states), considering the combined performance of CBPB and wooden battens under short-term and long-term loads. Based on the numerical findings, recommendations were developed for an approximate method of calculating the strength and deformability of CBPB in roof structures. The practical significance of the work lies in the design proposals and experimental results, which provide guidelines for the design and simplified of roof structures incorporating CBPB [1].

Research methods

The approximate content of each component in the production mixture is given as a percentage of the total mass of Figure 1.

To produce 1m^3 of CBPB the following materials are required: 280 kg of absolutely dry wood chips, 770 kg of Portland cement M500, 45 kg of chemical additives and 500 l. of water.

CBPB combines the beneficial properties of both wood and concrete, outperforming plywood, chipboards and absorption and swelling rates than chipboards and demonstrates high resistance to environmental factors. The swelling of CBPB boards is minimal 0.5% compared to chipboard and their linear expansion due to moisture variation is only 0.02% for every +1% change in humidity.

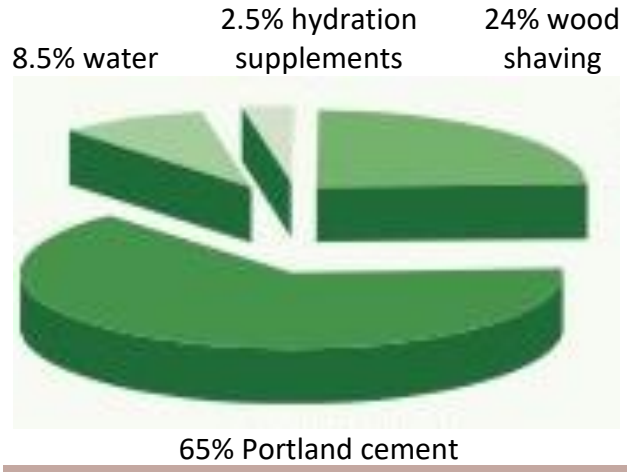


Figure 1 – Percentage composition of the components in the CBPB production mixture

CBPBs exhibit significant fire resistance (classified as G1). For instance, panel houses with a wood frame and single-layer CBPB cladding fall under fire resistance category IV. When an additional 12 mm layer of gypsum board is added, along with structural enhancements, buildings can achieve fire resistance category II with a REI 60 rating, making it possible to construct panel houses with wooden frames up to three stories high [2].

As a cladding material, CBPB belong to the category of flame-retardant and fire-resistant materials. According to the standard, CBPB is classified as G1 (low flammability) and has a low smoke emission rating. In the event of a fire, CBPB does not release toxic gases or vapors.

The industry produces two grades of CBPB with distinct physical and mechanical properties: CBPB №1, CBPB №2. Table 1 presents the standardized and additional performance indicators [3].

According to both domestic and international researchers, CBPB exhibits excellent adhesion properties and strong resistance to screw and nail pullout from both the surface and edges. These boards can be processed using conventional tools; however, cutting components must be non-toxic. Additionally, their surface can be refined. CBPB surface can be puttied, painted, wallpapered, tiled with ceramics or plastered [4].

To determine the elastic properties, CB specimen with a thickness of 12 mm and dimensions of 75×250 mm were tested. The supports and the testing machine's knife had rounded 15 mm each with a support center spacing of 200 mm.

During testing, the samples were positioned on the supports so that the applied force was perpendicular to the plate and centered. The test was conducted applying an R-5 testing machine, with a loading speed of 0.01 mm/sec. Samples were subjected to uniform loading and unloading, ranging from 5% to 25% of the failure load with an accuracy to 1-2% and the cycle was repeated. The duration of each loading cycle (from 5-25%) was maintained at 90 sec.

From the last three tested samples, absolute deformation values were calculated as the arithmetic mean between the upper and lower load limits. The modulus of elasticity was determined using the following equations

$$E_n = \frac{Pl^3}{4bh^3 f}, \quad (1)$$

where P is the applied load, equal to the difference between the upper and lower load limits;

- f is the deflection, measured as the difference in displacement at the upper and lower loading limits;
- h is the thickness of the chip-boards.

The test results are illustrated in Table 1. For CB samples with a thickness of 14 mm, the modulus of elasticity was determined by interpolating the values obtained for plates with a thickness of 12 mm and 14 mm [5]. Mechanical and physical characteristics of CB under prolonged loading conditions were obtained by applying correction factors to short-term loads values:

- long-term resistance mDA = 0.49;
- long-term deformability mDA = 0.52.

The elastic characteristics of the CB apply in further calculations are summarized in Tables 2-3.

For each element of the thin-walled plate (chipboard (CB) elements), the calculation results provide moments per unit length and membrane stresses. To evaluate the influence of various task parameters on the accuracy of the results, preliminary calculations were conducted before the main calculations. These preliminary computations helped determined the optimal characteristics of the calculation scheme, balancing computational efficiency (machine time) and calculation accuracy in Table 4.

To optimize calculations and reduce computational time, the geometric symmetry of the roof structure was considered. Initially, the design scheme was calculated for the entire roof, followed by a calculation for half of the roof [5]. The results were then compared to verify consistency between the full-roof model and the half-roof model.

The influence of grid density in the discretization of the continuum system apply rectangular elements was also analyzed. The contin-

Table 1 – Standardized and additional indicators

Indicators	Brand of slab	
	CBPB-1	CBPB-2
Density kg/m^3	1100-1400	
Moisture, %	9±3	
Thickness swelling in 24 h, %	2	
Bending strength, MPa, slabs, thickness 8-16 mm 18-24 mm	 12 10	 9 8
Tensile strength perpendicular to the plate, MPa	0.40	0.35
Plate roughness, mkm Unpolished slabs Polished	 320 80	 320 100
Bending modulus, MPa	3500	3000
Hardness, MPa	45-65	
Specific resistance to screw pullout from slabs, N/m	4-7	
Specific heat capacity, kJ/kg·°C	1.15	
Thermal conductivity, W/m·°C	0.25	
Bio-resistance class	4	
Bending strength decrease, % after 20 cycles of temperature and humidity effects	30	
Thickness swelling, %	5	
Flammability	Flame retardant	

Table 2 – Elastic characteristics

Indicators	Plate thickness, mm		
	10	12	14
The modulus of elasticity of chipboard when bending perpendicular to the plane, E, MPa a) short-term b) long-term	 3320 1400	 4110 1710	 5010 2084
Shear modulus, MPa a) short-term b) long-term	 2850 1197	 3013 1253	 3170 1319
The Poisson's ratio	0.17	0.17	0.17

uum system, consisting of CB elements, then into 64 elements and finally into 144 elements. A comparison of the results with varying grid densities (CB and wooden crates with straight elements) demonstrated that satisfactory convergence was achieved when CB sheets were divided into square elements measuring 15×15 cm, as shown in Figure 2. For easier data processing and analysis a finer grid of 10×10 cm^2 was ultimately apply.

Result and Discussion

For the roof structure roof structure calculations, the IV snow region was considered with a snow load of Rh=1.5 kN/m^2 and s roof slope of 14°. The calculated evenly distributed snow load on the roof is 1.649 kN/m^2. The rafter spacing, typical for low-rise and manor house roofs, was taken as 800 mm, 1000 mm, 1200 mm, 1500 mm, 1800 mm. Loads from adjacent CBPB along with operational, self-weight

Table 3 – Data for calculating crates

Indicators	Cross section, mm			
	40×40	50×50	60×60	70×70
Cross-sectional area F, sm	16	25	36	49
Moment of inertia per torsion, J_{tor}, sm^4	85.3	208.3	432	800.3
Moment of inertia per bend, J_{bend}, sm^4	21.3	52.1	108	200
Modulus of elasticity E, MPa a) long-term b) short-term	 10000 12300	 10000 12300	 10000 12300	 10000 12300
Density, kg/m^3	500	500	500	500
The Poisson's ratio μ xy μ yx	 0.5 0.02	 0.5 0.02	 0.5 0.02	 0.5 0.02

Table 4 – Coefficients of the element stiffness matrix

Indicators	Thickness of the CB, mm		
	10	12	14
Material density P, kg/m^3	1400	1400	1400
Coefficients of the element stiffness matrix: - during prolonged exposure to loads: $C_{xx} = C_{yy}$ $C_{xy} = C_{yx}$ $C_{xs} = C_{ys}$ - with short-term effects of loads: $C_{xx} = C_{yy}$ $C_{xy} = C_{yx}$ $C_{xs} = C_{ys}$	 1442 2451 0 - - -	 1760.8 2994 0 4232.8 719.6 0	 2146.4 364.9 0 - - -

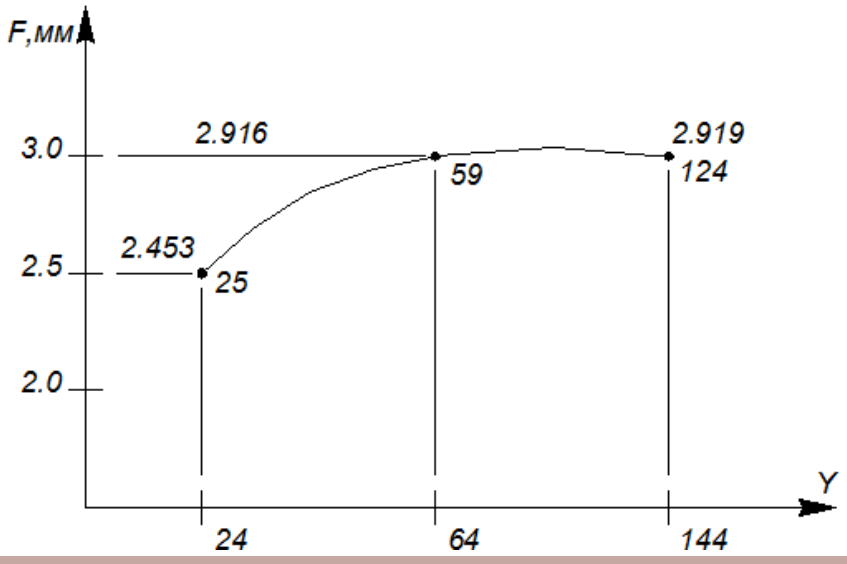


Figure 2 – Graph of convergence of calculation results

and temporary loads are transferred through the crate nodes obtained from discretization.

Computer simulations of the roof structure based on CBPB plate bending theory (Figure 3) indicate that maximum bending moments occur in the thin plate elements at section III-III, specification above the middle crate at its support points on the rafters.

Maximum displacements in the CBPB sheets occur at 0.43 from the outermost crate supports, which corresponds to the midpoint between adjacent crates (Figure 3). This behavior is due to the combined action of CBPB sheets and wooden crates, as the maximum movements in the two-span crate system also occur at 0.43 from the extreme supports.

When comparing displacement values based on plate bending theory versus beam bending theory, the displacements in CBPB are found to be lower in the plate bending model. On average, displacement values are 29.8% lower for a rafter pitch of 800 mm, decreasing to 18.5% for a pitch of 1500 mm, as demonstrated in Table 2.

Additionally, calculations applying the finite element method illustrated that the maximum moments and displacements in wooden crates, when analyzed together with CBPB, deviate only slightly (0.5-1%) from their expected values.

Further analysis of maximum moments and displacements was performed for CBPB sheet placement perpendicular to the roof slope. Figure 3 demonstrates the sealing of joint particle board sheets.

A long-term study of CBPB roofs with sheets laid along the roof slope in an indoor environment demonstrated a gradual increase in plate

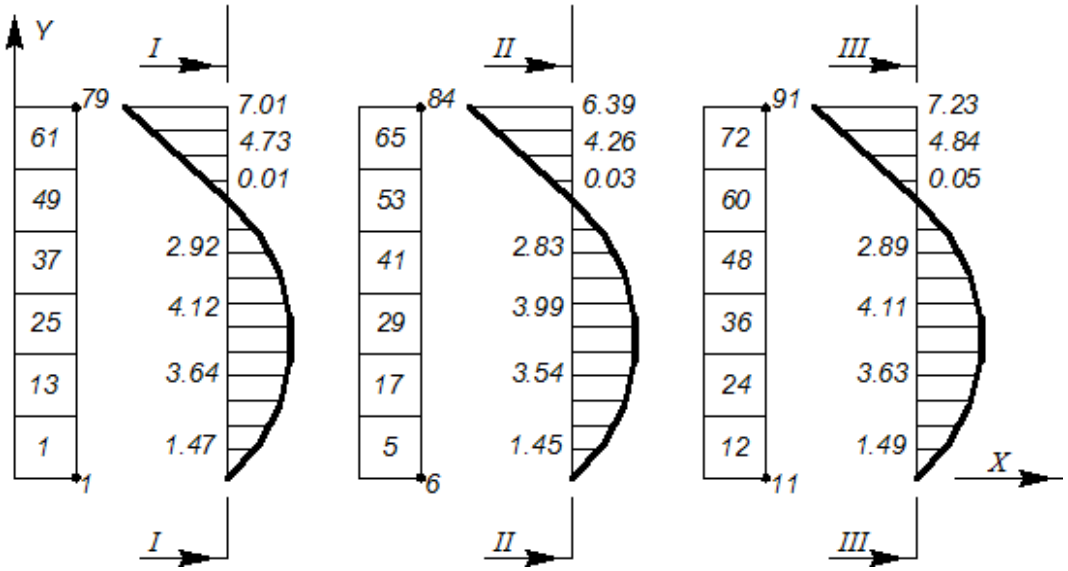


Figure 3 – Plot of the moments when laying out the CB across the roof slope

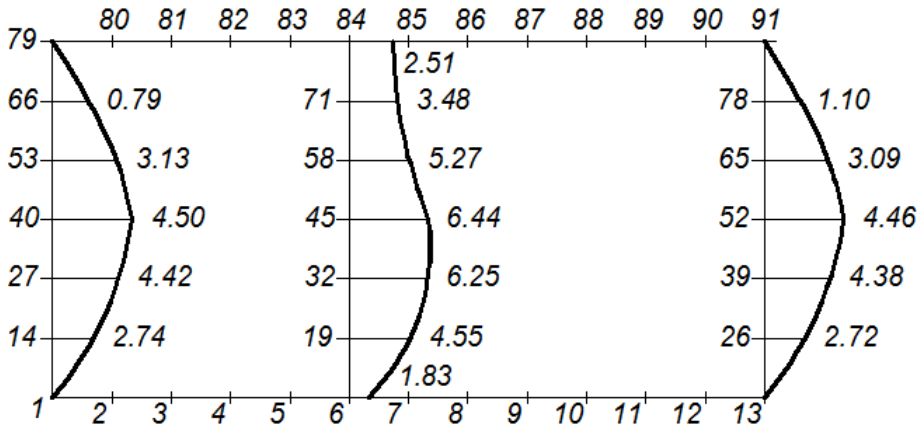


Figure 4 – The value of deflections of the CB when laying out the roof brackets

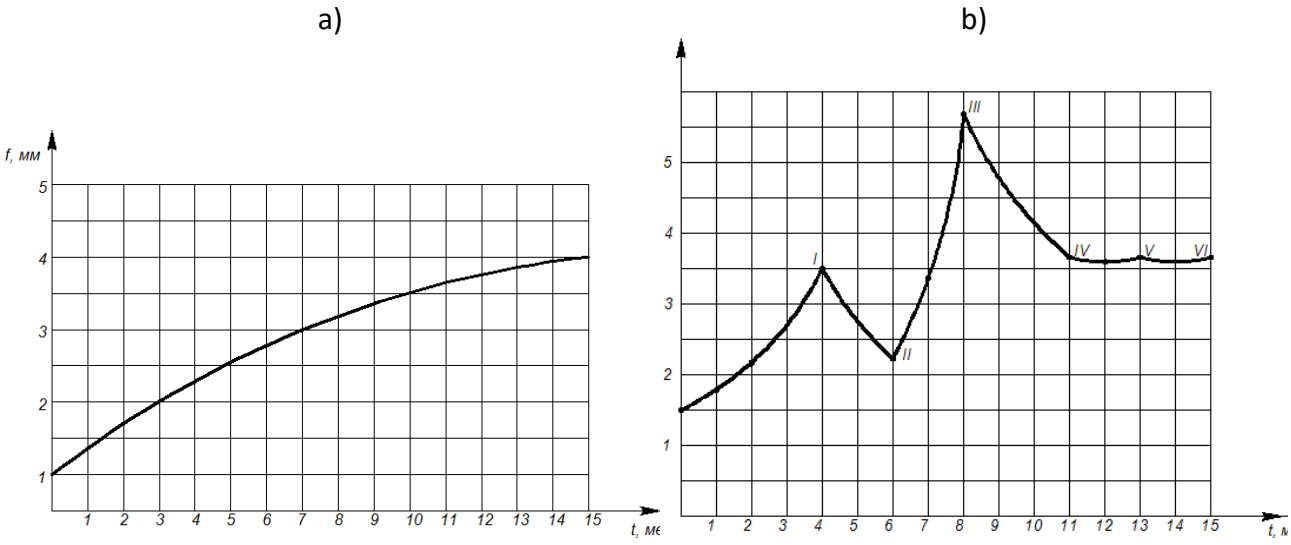


Figure 5 – Long-term study of roof deformability
a) in a room with a stable temperature (15-20°C) for 15 months
b) in atmospheric conditions for 15 months

deformations over 15 months. This behavior is attributed to creep in the CBPB, leading to a gradual deformation increase that eventually stabilized over time.

In contrast, long-term observations of CBPB roofs with sheets laid across the roof slope recorded a gradual deformation increase over four months. The strain value at point 1 was first measured three months after the start of testing.

Conclusion

For roofing solutions in manor and low-rise buildings, CBPB-based roofing structures are recommended with sheets laid either across or along the roof slope. The key design approach involves applying large-format CBPB sheets, which serve both load-bearing and enclosing functions. This significantly reduces material consumption and construction labor costs.

For practical implementation during the variant design stage, the author's approximate method for calculating strength and deformability of CBPB roofing sheets is recommended. This method, developed based on research findings, utilizes coefficient that vary depending on sheet layout, rafter spacing and the pitch and cross-section of wooden battens.

REFERENCES

1. Omarov Zh., Tleulenova G., Makashev K. Modern energy efficient and industrial technologies of using composite materials and structures on the basis of wood waste. Mechanics and Technologies Scientific Journal, Dulaty University Vol. 2, 2025.
2. Omarov, Z., Zhukenova, G., Bulyga, L., Beisembaev M. Prospects for the use of sandwich panels in the construction industry of Kazakhstan. E3S Web of Conferences 263, 01020, 2021. FORM-2021. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126301020
3. Omarov, Zh.M., Zhukenova, G.A., Kuderin M.K., Bulyga, L.L. Beisembaev M.K. Method for Calcula-ting the Strength and Deformability of Roof Sheets Made of Cement Bonded Particle Board (scopus) 2021. Cite as: AIP Conference Proceedings 2559, 050004, 2022. https://doi.org/10.1063/5.0100336 Published Online: 16 August 2022
4. Junfeng Hou, Yongming Jin, Wenbo Che, YoumingYu. Value-added utilization of wood processing residues into cement-bonded particleboards with admirable integrated performance. Construction and Building Materials. 2022. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128144

5. Liang Chen, Lei Wang, Daniel C.W.Tsang, Viktor Mechtcherine, Chi Sun Poon. 2018. Efficacy of green alternatives and carbon dioxide curing in reactive magnesia cement-bonded particleboards, (Journal of Cleaner Production), Vol. 258, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120997

Тақта-тақтайшаларының қолданылуымен шатырдың құрылымдық шешімі

*[1]**ОМАРОВ Жумабек Мухтарович,** т.ғ.к., доцент, zhumabek-omarov@mail.ru,*
*[2]***ТЛЕУЛЕНОВА Гульшат Толеувна,** PhD, доцент м.а., gulshattleulenova7@gmail.com,*
*[1]**МАКАШЕВ Куаныш Токтарбекович,** PhD, доцент, m.kuanysh87@mail.ru,*
*[1]**ЖУКЕНОВА Гульнара Абаевна,** PhD, доцент, gulnara-home@mail.ru,*
*[3]**АБДРАХМАНОВА Каламкас Аманбековна,** PhD, доцент, kagaip@mail.ru,*
[1]«Торайғыров университеті» КеАҚ, Ломов көшесі, 64, Павлодар, Қазақстан,
[2]«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан,
[3]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Жетілдірілген құрылыс материалдарына сұраныс қоршау және жүк көтергіш құрылымдардың жылу кедергісіне қойылатын жаңа талаптарға байланыс өсті. Бұл зерттеу өнеркәсіптік және құрылыс секторларындағы энергияны үнемдейтін және үнемді шешімдерді зерттейді. Авторлар ұзақ мерзімді жүктеменің бөлшектер тақтасының механикалық қасиеттеріне қаншалықты әсер ететінін зерттеді. Кеңейтілген статикалық тестілеуді талдау материалдың беріктігі туралы маңызды түсінік берді. Сонымен қатар, зерттеу жылу оқшаулағыш материалдардың өндірісін ұлғайтуға ғана емес, сонымен қатар ағаш қалдықтарын кәдеге жарату мәселесін шешуге де ықпал етеді. Ағаш қалдықтарын пайдаланатын материалдар мен конструкциялардың конструкциясы ағаш толтырғыштың физикалық-механикалық қасиеттерін және жалпы ағаш құрылымын ескереді. Зерттеу композициялық ағаш негізіндегі материалдарды пайдалана отырып, ғимараттарды өндіру мен салудағы заманауи технологиялардың негізгі артықшылықтарын анықтайды. Өз нәтижелеріне сүйене отырып, авторлар шатырдың еңісі бар шатыр құрылымдары үшін цементпен байланысқан бөлшектер тақталарын пайдалануды ұсынады.*

***Кілт сөздер:** механикалық қасиеттері, ағаш құрылымы, мәселе, парақ, шатырдың беткейі, құрылыс материалдары, өнеркәсіптік секторы.*

Конструктивное решение кровли с применением листов-плит

*[1]**ОМАРОВ Жумабек Мухтарович,** к.т.н., доцент, zhumabek-omarov@mail.ru,*
*[2]***ТЛЕУЛЕНОВА Гульшат Толеувна,** PhD, и.о. доцента, gulshattleulenova7@gmail.com,*
*[1]**МАКАШЕВ Куаныш Токтарбекович,** PhD, доцент, m.kuanysh87@mail.ru,*
*[1]**ЖУКЕНОВА Гульнара Абаевна,** PhD, доцент, gulnara-home@mail.ru,*
*[3]**АБДРАХМАНОВА Каламкас Аманбековна,** PhD, доцент, kagaip@mail.ru,*
[1]НАО «Торайгыров университет», ул. Ломова, 64, Павлодар, Казахстан,
[2]НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан,
[3]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Спрос на современные строительные материалы вырос в связи с новыми требованиями к термостойкости ограждающих и несущих конструкций. В данном исследовании рассматриваются энергоэффективные и экономичные решения в промышленности и строительстве. Авторы исследовали, как длительная нагрузка влияет на механические свойства древесностружечных плит. Анализ результатов длительных статических испы-*

таний позволил получить важную информацию о долговечности материала. Кроме того, исследование способствует не только увеличению производства теплоизоляционных материалов, но и решению проблемы утилизации древесных отходов. При проектировании материалов и конструкций с использованием древесных отходов учитываются физические и механические свойства древесного наполнителя и общая структура древесины. В исследовании определены ключевые преимущества современных технологий в производстве и строительстве зданий с использованием композитных материалов на основе древесины. Основываясь на своих выводах, авторы предлагают использовать цементно-стружечные плиты для кровельных конструкций с листовым уклоном крыши.

Ключевые слова: *механические свойства, структура древесины, проблема, лист, скат крыши, строительные материалы, промышленный сектор.*

REFERENCES

1. Omarov Zh., Tleulenova G., Makashev K. Modern energy efficient and industrial technologies of using composite materials and structures on the basis of wood waste. Mechanics and Technologies Scientific Journal, Dulaty University Vol. 2, 2025.
2. Omarov, Z., Zhukenova, G., Bulyga, L., Beisembaev M. Prospects for the use of sandwich panels in the construction industry of Kazakhstan. E3S Web of Conferences 263, 01020, 2021. FORM-2021. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126301020
3. Omarov, Zh.M., Zhukenova, G.A., Kuderin M.K., Bulyga, L.L. Beisembaev M.K. Method for Calcula-ting the Strength and Deformability of Roof Sheets Made of Cement Bonded Particle Board (scopus) 2021. Cite as: AIP Conference Proceedings 2559, 050004, 2022. https://doi.org/10.1063/5.0100336 Published Online: 16 August 2022
4. Junfeng Hou, Yongming Jin, Wenbo Che, YoumingYu. Value-added utilization of wood processing residues into cement-bonded particleboards with admirable integrated performance. Construction and Building Materials. 2022. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128144
5. Liang Chen, Lei Wang, Daniel C.W.Tsang, Viktor Mechtcherine, Chi Sun Poon. 2018. Efficacy of green alternatives and carbon dioxide curing in reactive magnesia cement-bonded particleboards, (Journal of Cleaner Production), Vol. 258, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120997

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_185 UDC 692.23(574)=111

Studying the Life Cycle Features of Curtain Wall Ventilated Facade Systems in Regional Conditions

[1]***IMANOV Marat,** Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, m.imanov@ktu.edu.kz,
[1]**KROPACHEV Pyotr,** Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, kropachev-54@mail.ru,
[1]**RAKHIMOVA Galia,** Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, g.rahimova@ktu.edu.kz,
[1]**RAKHTAYEV Abilgazy,** Master's Degree, a.rakhtaev@ktu.edu.kz,
[2]**ZAKARIA Rozana,** PhD, Associate Professor, rozana@utm.my,
[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]University of Technology Malaysia, Skudai, Johor Bahru, Johor, Malaysia,
*corresponding author.

Abstract. The article provides the analysis of the practice and main problems of modern facade construction in Kazakhstan. The analysis of foreign and domestic experience in the design, mounting and operation of curtain wall ventilated facade systems has been performed. Typical violations of the norms in force in the Republic of Kazakhstan that are often observed at all the stages of the life cycle of these systems have been identified and systematized. The features of the operation of load-bearing structures of facade systems of technically complex and high-rise buildings have been studied. The main features of the design, mounting and operation of these facade systems have been identified taking into account regional conditions. The calculations of the elements of load-bearing structures and a thermal engineering calculation of the facade system of a high-rise civil complex in Astana have been performed.

Keywords: curtain wall ventilated facade systems, design, mounting, operation, load-bearing substructure, load-bearing brackets, anchors, heat-insulating layer, hydro-windproof membrane, air gap, cladding, calculation scheme, technically complex buildings.

Introduction

The analysis of the practice of designing, constructing and operating curtain wall ventilated facade systems in Kazakhstan and abroad revealed a number of problems. In particular, at present, there are no scientifically based design and technological solutions for these systems taking into account regional conditions.

Curtain wall ventilated facade systems adapted to changes in the external climate are the key link in the concept of climate adaptation and energy saving in construction [1, 2] and will become a necessary step towards developing buildings with "smart" facades.

Statement of the problem

Many civil buildings in Kazakhstan, especially public buildings, have ventilated facades. They are characterized by a large range of factory-ready structural elements, which include various materials and products. Such facade systems are technically complex enclosing structures, the operational reliability of which largely depends on strict compliance with standards and design, quality of installation.

The construction market offers a large selection of these systems that are mounted in a certain technological sequence and with specified technological tolerances.

In the bearing elements of facade systems in the region, cheap aluminum alloy AD-31 is widely used. However, elements made of this alloy have a number of serious drawbacks: a significant coefficient of linear expansion of products, strength limitations, and a low melting point. These shortcomings are compensated by design solutions that are prescribed in the Technical Certificate. The main problem is the high-quality mounting of the facade system, since failure to comply with the technology often leads to the collapse of the cladding.

One of the important parts of any facade system that generally determine its overall reliability, is the anchoring unit of the supporting substructure to the base. The operational reliability of the anchor fastening unit is usually ensured by the strength of the connection, however, in the conditions of Central and Northern Kazakhstan, facade systems experience long-term pulsating wind loads, which also requires taking into account the deforma-

tion properties of this type of fastener. When designing a facade system for a specific building, the obtained value of the calculated resistance of the anchoring that corresponds to the end of the elastic deformation zone, is taken as the permissible load on the anchors, which is multiplied by the coefficient of its operating conditions.

The supporting structures of the facade system for each specific building are calculated for loads and impacts, their combinations, wind loads, double-sided icing of the cladding, temperature and climatic impacts. For facade systems of technically complex buildings, preliminary tests are carried out in a wind tunnel to determine the aerodynamic coefficients on the models. For buildings over 75 m high, the brackets of the facade system are attached to the supporting reinforced concrete or metal elements of the frame, or to specially designed metal or reinforced concrete belts that transfer forces from the bracket to the supporting structures [3].

The materials and components used in a specific facade system must strictly comply with the Technical Certificate for the system or the Organization Standard and Technical Specifications approved in the established manner, and must also have a quality document that confirms the quality of the materials and indicate their manufacturers.

One of the most pressing issues in ensuring fire safety of a facade system is selecting effective solutions for placing a heat-insulating layer.

In general, safety, reliability and durability of facade systems are determined by the correct choice of the main elements by the designer, clear organization of quality control of the work and strict adherence to the mounting technology, as well as the rules of technical operation.

Research methods include the following:

- analysis of the building codes and regulations in force in Kazakhstan;
- comparative analysis of facade system projects, the installation of which is permitted in our country;
- preliminary visual and detailed instrumental examination of facade systems with the achievement of a full level of awareness;
- static calculation of load-bearing structures of the facade system for a building over 75 m high;
- calculation methods of building heat engineering;
- methods of mathematical modeling and experimental justification of calculation models;
- methods of extrapolation and expert assessment of the load-bearing capacity and operational suitability of the facade system.

Results and further prospects of research

The analysis of the practice of building curtain wall ventilated facade systems in Central Kazakhstan has revealed a number of typical violations of current regulations that are often encountered in the designing, mounting and operating of these systems.

In the course of design there are errors in static calculations due to the absence of a unified calculation method, reliable data on the actual operation of the facade system and its individual elements; incomplete (usually without taking into account the coefficient of thermal inhomogeneity) thermal calculation, or its absence.

Errors in calculations are mainly associated with incorrect actions in accepting the calculation scheme, determining loads, safety factors, incorrect consideration of wind loads and temperature differences.

When installing facade systems in Kazakhstan, technical supervision often establishes:

- violations of the approved project in the form of using non-system elements, metal structures without anti-corrosion coating;
- violations of existing technological regulations for the installation of ventilated facades;
- errors in selecting the size of the air gap and the width of open cladding joints;
- failure to take into account the specific design features of the external wall of the building, including the installation of windows and the junction of windows to the facade system;
- unreliable anchoring of load-bearing brackets to low-strength aerated concrete or hollow-core cinder blocks of the wall enclosure;
- unreliable installation of massive stained-glass structures on a weak foundation made of aerated concrete blocks and cinder blocks with low strength;
- rigid connection of system elements with each other, and their rigid embedding in the load-bearing base;
- absence of grooves in brackets for fastening vertical posts for minor temperature and settlement movements;
- implementing thermal break gaskets made of rubber and plastic that are not permitted by the standards in force in the Republic of Kazakhstan [1];
- violating the integrity of the hydro-windproof membrane and the absence of documents confirming its fire safety;
- insufficient quantity and loss of individual plate dowels for fastening elements of the thermal insulation layer;
- violating fire safety regulations during welding work.

When operating a ventilated facade of civil buildings, the following are most often observed:

- a complete lack of design and execution documentation for the structures, as well as quality certificates and certified laboratory test data for the materials and products actually used;
- non-design installation of massive additional devices (air conditioning systems, billboards, banners and other devices) on the facade system cladding;
- absence of regular inspection and maintenance, as well as violation of the rules for the technical operation of the facade system;
- improper cleaning of the facade system from dirt.

When designing, mounting, and operating the facades of high-rise buildings, systems are often used that are not intended for high-rise construction, which leads to fires of a high complexity category.

One of the serious problems is that in our country with different climate zones, facade systems are usually developed for one temperature regime option. At the same time, the peculiarities of the construction market of the Republic of Kazakhstan allow that these developments can be used in areas with completely different operating conditions. Let's consider the task of constructing a facade system for a high-rise building on Kabanbay Batyr Avenue in Astana.

The climate in Central Kazakhstan is sharply continental with dry summers and cold snowy winters. The average temperature difference is from +23.9°C to -20.2°C, and the maximum temperature is from +41.6°C to -51.6°C. The annual precipitation ranges from 113 to 780 mm [3]. The high-rise building under study in the capital of Kazakhstan is oriented east of southeast. Thus, the wind speed varies mainly within 1…3.5 m/s. In very rare cases, it can increase sharply to 13 m/s. The external screen, or cladding as part of the curtain wall ventilated facade system of such a building must withstand large temperature differences, significant wind loads and precipitation.

Porcelain stoneware is such a material. The supporting base for the facade system is the ends of monolithic reinforced concrete floors 200 mm thick, as well as brickwork made of solid brick 250 mm thick. The distance between the floors is 3.3 m.

The facing material is porcelain stoneware 600×600×10 mm.

The height of the cladding reaches 78.4 m. Fastening of the supporting profile on the corner sections of the facade system with the cladding height above 40 m is performed with a step of 0.6 m.

The strength calculation of the building façade system shows the following.

The maximum wind load for Astana is:

$$W = 0,5 \cdot \rho_B \cdot V \cdot V = 0.5 \cdot 1.2 \cdot 13 \cdot 13 = \\ = 101.4\ \text{Pa} = 10.3\ \text{kg/m}^2, \quad (1)$$

where V is the wind speed (maximum fixed 13 m/s);

ρ_B is the air density, kg/m^3 (ρ = 1.2);

0.5 is the aerodynamic coefficient.

The estimated wind load on the windward surface of the facade system at a height of 78.4 m for the middle section will be 13 kg/m^2. In this case, the wind presses the cladding to the supporting substructure of the facade system. The entire wind load of the supporting profile is transferred to the clamps in the form of a concentrated force.

The weight of a porcelain stoneware slab measuring 600×600×10 mm with a density of ρкп = 2.8 g/cm^3: 0.6×0.6×0.01×2800 = 10.1 kg.

These loads in the form of concentrated forces are applied at the distance of 36 mm from the profile. Let's replace them with moments of force of 0.37 kg·m.

Characteristics of the supporting profile of the facade system substructure are as follows:

- ∟55×55×1.2 mm;
- mass of 1 l.m. = 1.6950 kg;
- inertia moment J_x = 6.5670 cm^3;
- resistance moment W_x = 1.6210 cm^3;
- static moment of half-section S_x = 1.6400 cm^3;
- steel grade is S235;
- estimated steel resistance R_y = 230 MPa;
- relative deflection is 1/250 of the span;
- elasticity modulus E = 206000 MPa.

The calculation scheme of the supporting profile is presented in Figure 1.

The diagrams of deflections, rotation, bending moments and transverse forces of the supporting profile are shown in Figures 2-5.

Stresses in the beam, excluding its own weight:

- normal (from M_{max}) 6.16 MPa;
- tangential (from Q_{max}) 25.25 MPa.

The maximum deflection with the safety factor is 0.0071^{m-3}, which is 1/84118 of the maximum 0.6 m span.

The element cross-section passes through the strength and rigidity conditions.

The calculation of the supporting bracket, anchors and clamps as part of the substructure shows that they also satisfy the strength and rigidity conditions.

The calculation of the heat transfer resistance of a thermally homogeneous structure is performed using the formula:

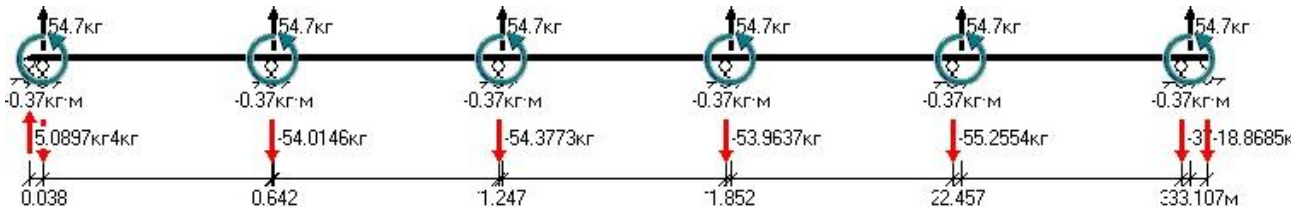


Figure 1 – The calculation scheme of the supporting profile

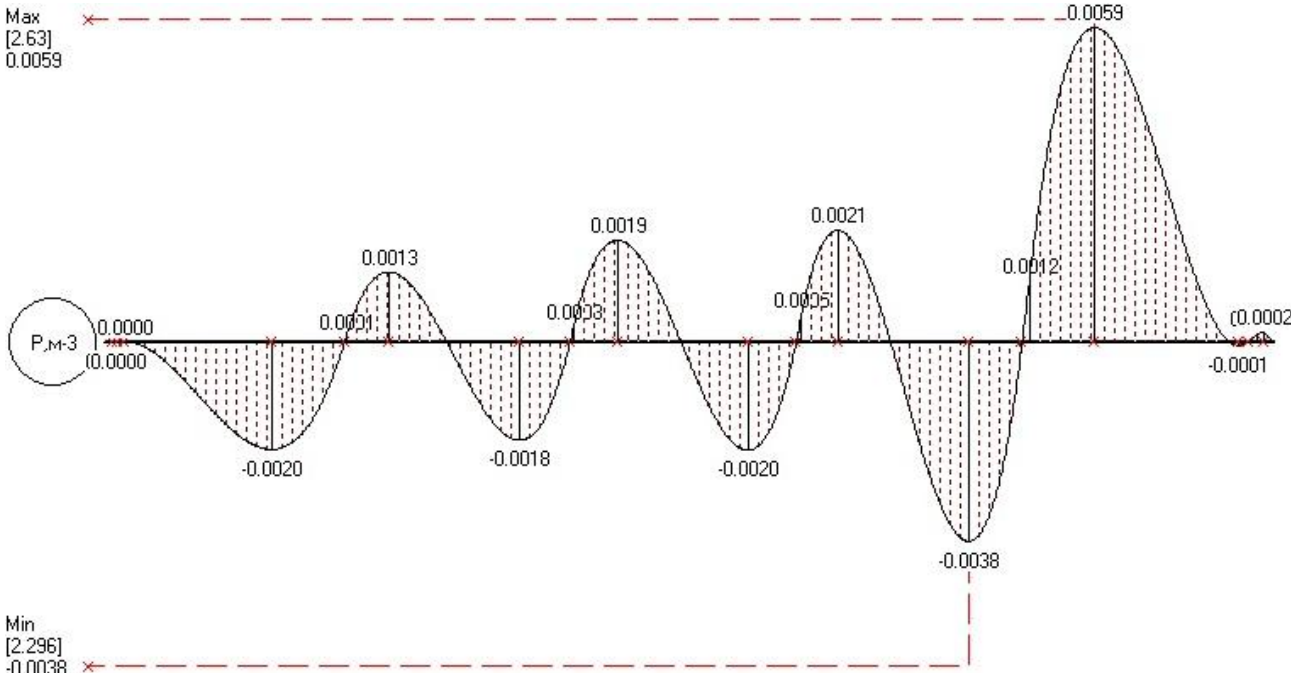


Figure 2 – The diagram of deflections of the supporting profile, m

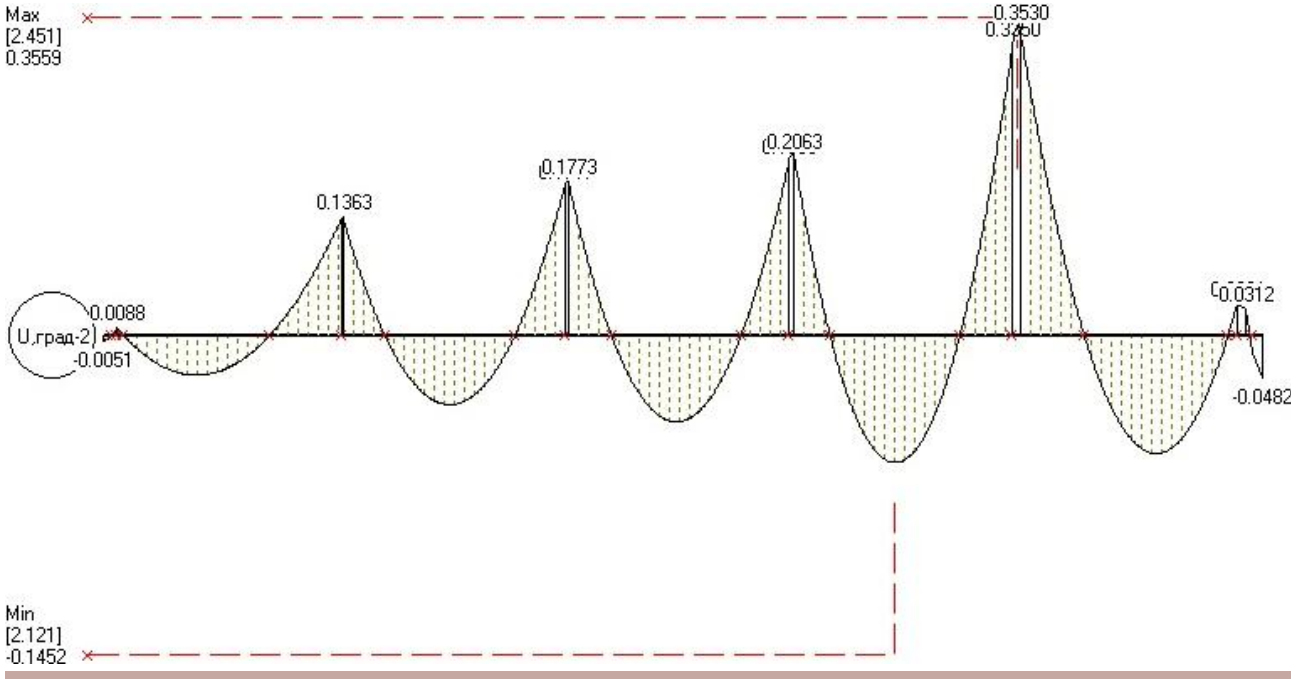


Figure 3 – The diagram of the rotation angles of the supporting profile, deg.

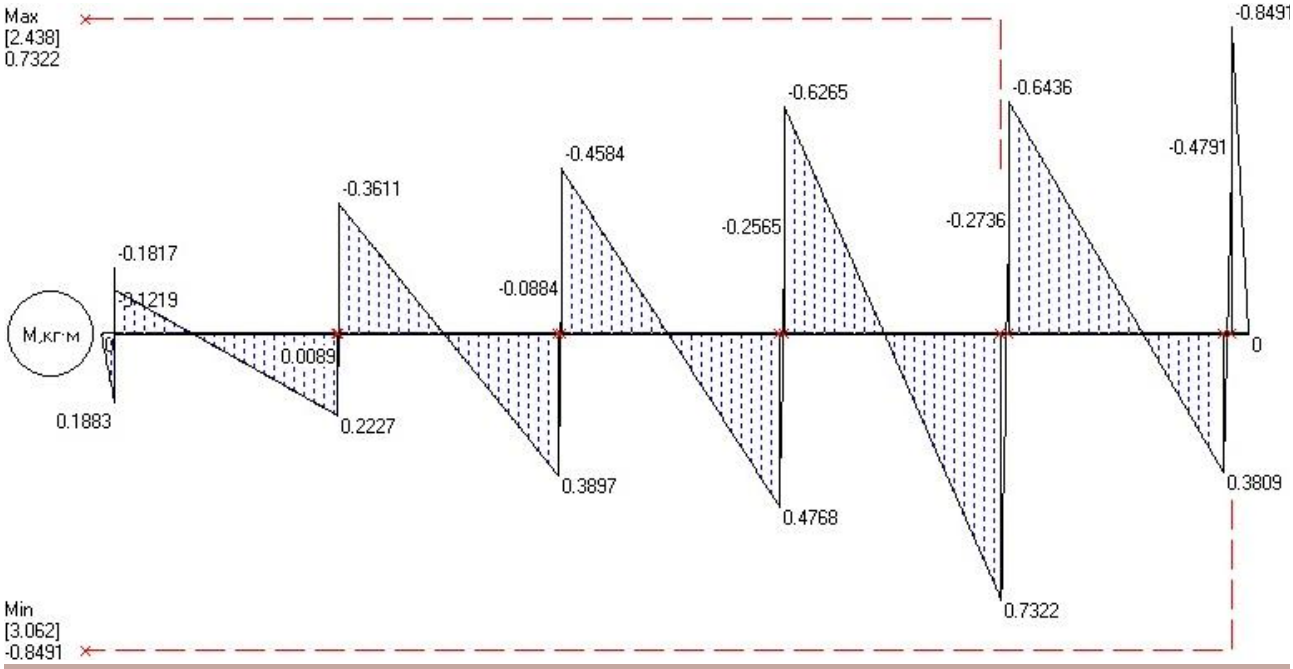


Figure 4 – The bending moment diagram of the supporting profile, kg/m

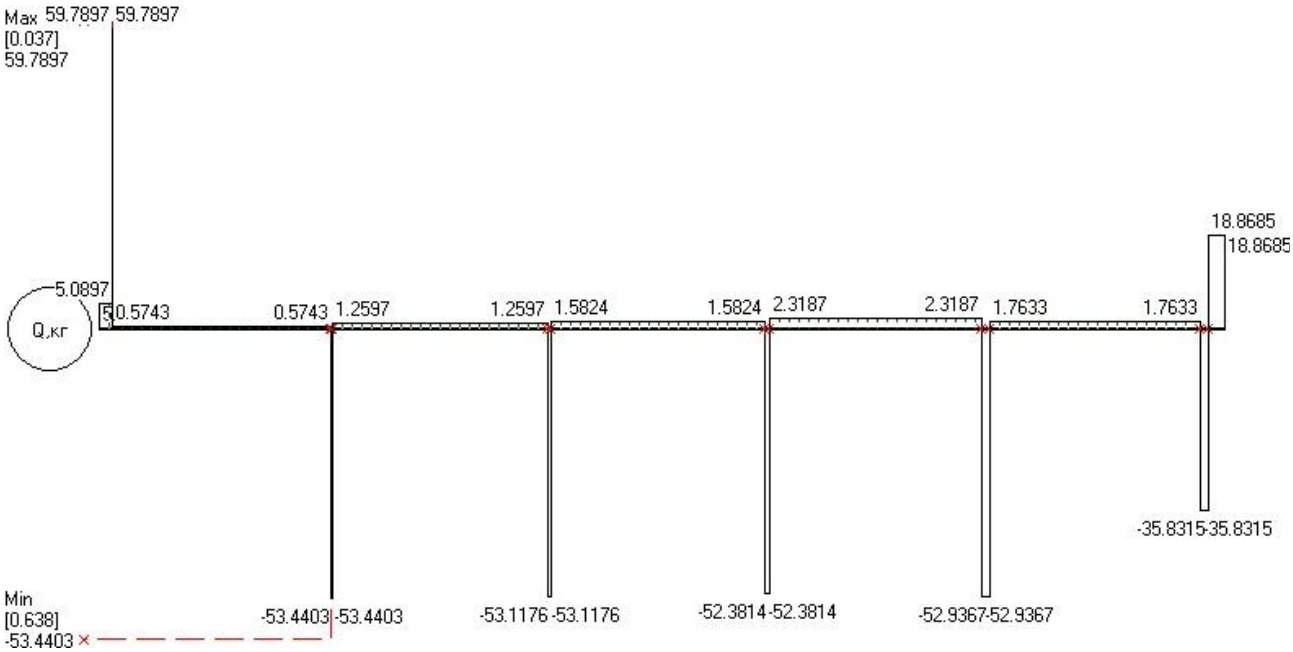


Figure 5 – The diagram of transverse forces of the supporting profile, kg

$$R = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3}, \qquad (2)$$

where α_B, α_3 are coefficients of heat transfer of the outer and inner surfaces of the enclosing structure, W/(m²·K);

λ_{ip} is the material heat conductivity of the i-th layer of the structure, W/(m·K).

The thickness of the mineral wool insulation to taken to be 120 mm, the thermal conductivity coefficient λ = 0.0045 W/m·K.

For the other materials:

- reinforced concrete λ = 2.04 W/m·K;
- solid clay brick λ = 0.081 W/m·K;
- metal λ = 58 W/m·K.

The fulfillment of the condition is checked:

$$R_{\sum np} \geq R_{q\min}, \qquad (3)$$

where $R_{\Sigma np}$ is the value of the reduced thermal resistance for the enclosing structure;

R_{qmin} is the minimum permissible value of thermal resistance for the enclosing structure.

Depending on the sections of the facade system, $R_{\Sigma np}$ ranges from 0.47 to 3.13 m²·K/W.

The total reduced resistance $R_{\Sigma np}$ = 2.94 m²·K/W > 2.8 m²·K/W; the condition is met.

Conclusions

1. It is necessary to develop regulations on the procedure for developing, coordinating, approving and composing technical specifications for designing and mounting facade systems, taking into account regional conditions.

2. The use of facade systems with porcelain stoneware cladding in the current RK standards is limited and requires careful consideration of many factors, including climatic and seismic conditions of the region of use.

3. Taking into account the features of the structural elements of curtain wall ventilated façade systems adapted to regional conditions, it is advisable to clarify the wind loads and then make appropriate additions to the building codes in force in Kazakhstan for the design and installation of these systems.

4. It is necessary to exclude the use of ventilated curtain wall facade systems with fire hazardous types of aluminum panels and hydro-windproof membranes during design.

5. To maintain the thermal physical properties of the facade system, it is necessary to monitor the condition of the insulating layer, air gap and cladding.

REFERENCES

1. СП РК 2.04-101-2011 «Проектирование зданий с учетом энергоэффективности».
2. «Об установлении требований по энергоэффективности зданий, строений, сооружений и их элементов, являющихся частью ограждающих конструкций». Приказ Министра по инвестициям и развитию РК от 31 марта 2015 года № 406.
3. СП РК 5.06-19-2012 «Проектирование и монтаж навесных фасадов с воздушным зазором» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 04.04.2017 г.).

Аймақтық жағдайларда аспалы желдетілетін қасбеттік жүйелердің өмірлік циклі ерекшеліктерін зерттеу

[1]*ИМАНОВ Марат Омирбекович, *т.ғ.к., доцент, m.imanov@ktu.edu.kz,*
[1]КРОПАЧЕВ Петр Александрович, *т.ғ.к., доцент, kropachev-54@mail.ru,*
[1]РАХИМОВА Галия Мухамедиевна, *т.ғ.к., доцент, g.rahimova@ktu.edu.kz,*
[1]РАХТАЕВ Абилгазы Серикович, *магистр, a.rakhtaev@ktu.edu.kz,*
[2]ЗАКАРИЯ Розана, *PhD, қауымдастырылған профессор, rozana@utm.my,*
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Малайзия технологиялық университеті, Скудай, Джохор-Бару, Джохор, Малайзия,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Қазақстандағы қазіргі заманауи қасбеттік құрылыс тәжірибесі мен негізгі мәселелері талданған. Шетелдік және отандық ілмелі желдетілетін қасбеттік жүйелерді жобалау, монтаждау және пайдалану тәжірибесіне талдау жасалды. Бұл жүйелердің өмірлік циклінің барлық кезеңдерінде жиі кездесетін, Қазақстан Республикасында қолданылатын нормалардың типтік бұзушылықтары анықталып, жүйелендірілді. Техникалық күрделі және биік ғимараттардың қасбеттік жүйелерінің тірек конструкцияларының жұмысының ерекшеліктері зерттелді. Аймақтық жағдайларды ескере отырып, аталған қасбеттік жүйелерді жобалау, монтаждау және пайдалану ерекшеліктері анықталды. Астанадағы биік*

азаматтық кешеннің қасбеттік жүйесінің тірек элементтеріне есептеу және жылутехникалық есептеу жүргізілді.

Кілт сөздер: *қабырғалық желдеткіш қасбеттік жүйе, жобалау, орнату, пайдалану, тірек қосалқы құрылымы, тіреуіш кронштейн, анкер, жылу оқшаулағыш қабат, гидрожелге қарсы мембрана, ауа саңылауы, қаптау, есептеу схемасы, техникалық күрделі ғимарат.*

Исследование особенностей жизненного цикла навесных вентилируемых фасадных систем в региональных условиях

[1]*ИМАНОВ Марат Омирбекович, *к.т.н., доцент, m.imanov@ktu.edu.kz,*
[1]КРОПАЧЕВ Петр Александрович, *к.т.н., доцент, kropachev-54@mail.ru,*
[1]РАХИМОВА Галия Мухамедиевна, *к.т.н., доцент, g.rahimova@ktu.edu.kz,*
[1]РАХТАЕВ Абилгазы Серикович, *магистр, a.rakhtaev@ktu.edu.kz,*
[2]ЗАКАРИЯ Розана, *PhD, ассоциированный профессор, rozana@utm.my,*
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]Университет технологий Малайзии, Скудай, Джохор-Бару, Джохор, Малайзия,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Дан анализ практики и основных проблем современного фасадного строительства в Казахстане. Выполнен анализ зарубежного и отечественного опыта проектирования, монтажа и эксплуатации навесных вентилируемых фасадных систем. Выявлены и систематизированы типичные нарушения действующих в РК норм, часто наблюдаемых на всех этапах жизненного цикла данных систем. Исследованы особенности работы несущих конструкций фасадных систем технически сложных и высотных зданий. Выявлены основные особенности проектирования, монтажа и эксплуатации указанных фасадных систем с учетом региональных условий. Выполнены расчеты элементов несущих конструкций и теплотехнический расчет фасадной системы высотного гражданского комплекса в Астане.*

Ключевые слова: *навесная вентилируемая фасадная система, проектирование, монтаж, эксплуатация, несущая подконструкция, несущий кронштейн, анкер, теплоизоляционный слой, гидро-ветрозащитная мембрана, воздушный зазор, облицовка, расчетная схема, технически сложное здание.*

REFERENCES

1. RK SP 2.04-101-2011 «Design of buildings taking into account energy efficiency».
2. «On establishing requirements for energy efficiency of buildings, structures, facilities and their elements that are part of enclosing structures». Order of the Minister of Investments and Development of the Republic of Kazakhstan dated March 31, 2015, No. 406.
3. RK SP 5.06-19-2012 «Designing and mounting curtain walls with an air gap» (with amendments and additions as of April 4, 2017).

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_192 ӘОЖ 656.2.04:519.8

Теміржол жолдарының жағдайын болжауға байланысты жол жөндейтін машиналар паркін оңтайландыру

[1]*ОРАЗАЛИНА Аида Бауржановна, докторант, orazalinaa77@mail.ru,
[2]BARTOSZ Wieczorek, PhD, профессор, bartosz.wieczorek@put.poznan.pl,
[1]БАТЫРБЕК Мөлдір Батырбекқызы, докторант, moldyr240597@mail.ru,
[3]БАЛАБЕКОВА Қырмызы Гинаятовна, PhD, қауымдастырылған профессор, balabekovakyrmyzy@gmail.com,
[4]МАУЛЕНОВА Асел Манатовна, докторант, asel.aseka.79@mail.ru,
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Познань техникалық университеті, Мария Склодовская-Кюри алаңы, 5, Познань, Польша,
[3]«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан,
[4]«Мұхаметжан Тынышбаев атындағы ALT университеті» АҚ, Шевченко көшесі, 97, Алматы, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Қазақстан теміржол желілерінде жолдың болжамды техникалық жай-күйін ескере отырып, жол машиналары паркін оңтайландыру тәсілі ұсынылады. Зерттеу 2014-2024 жылдардағы жүк айналымы мен инфрақұрылым тозуының динамикасын және транзиттік/экспорттық жүктемелердің өсуін талдауға негізделген: жүк айналымы 214-тен 327,9 млрд т-км-ге дейін өсіп, тозу деңгейі 38%-дан 57%-ға дейін ұлғайды; 2025 жылғы қаңтарда тиеу 7,3% өсіп, 21,7 млн т болды, экспорт 13,4% артты. Жөндеу қажеттілігі жолдың нормативтік шектеулері, ақаулар кезіндегі жылдамдық шешімдері және жөндеу түрлерін тағайындау критерийлері арқылы негізделді. Ғылыми жаңалығы – жолдың болжамды жай-күйі көрсеткіштерін нормативтік шектермен байланыстырып, «сақтау – модернизациялау – жаңа сатып алу» сценарийлері бойынша пайда максимумын (П = D – С) қолданатын шешім қабылдау алгоритмін ұсыну және оны парк басқару логикасына енгізу. Практикалық нәтиже – шамамен 543 бірлік жол техникасы бар жағдайда парк құрамын (түрі/саны) жоспарланған жөндеу көлеміне дәл сәйкестендіруге мүмкіндік беретін қолданбалы әдістеме; ол техниканың бос тұрып қалуын қысқартуға, ресурстарды тиімді бөлуге және жөндеу бағдарламаларын орындау тұрақтылығын арттыруға бағытталған.

Кілт сөздер: теміржол жолы, жол машиналары паркі, техникалық жай-күй, жол инфрақұрылымы, жол тозуы, болжау, пайдалану тиімділігі, сенімділік, оңтайландыру.

Кіріспе

Қазақстан Республикасында тармақталған теміржол желісі жұмыс істейді, ол 2022 жылғы жағдай бойынша теміржол желілерінің пайдалану ұзындығының шамамен 16000 км және негізгі жолдардың шамамен 21000 км құрайды [1]. Теміржол көлігі ұлттық көлік жүйесінің негізгі элементі болып табылады: ресми мәліметтер бойынша, оның жиынтық жүк айналымындағы үлесі 50%-дан асады, ал жекелеген көздерде – 68%-ға дейін жолаушылар айналымында – 57%-дан астам [2].

Қазақстанның географиялық орналасуы оған транзиттік держава ретінде стратегиялық мән береді. Солтүстікте республика Ресей Федерациясымен әлемдегі ең ұзын құрлық шекара болып табылады (7591 км), ал шығыста – ҚХР-мен шектеседі. Оңтүстікте Қазақстан Қырғызстанмен, Өзбекстанмен және Түрікменстанмен байланыста. Бұл ереже Еуропаны, Орталық Азияны және Қытайды байланыстыратын көлік дәліздерін қалыптастыру және пайдалану үшін алғышарттар жасайды.

Зерттеудің мақсаты – теміржол жолдарының техникалық жағдайын болжау нәтижелеріне сүйене отырып, жол жөндейтін ма-

шиналар паркінің құрамын және пайдалану параметрлерін ғылыми негізде оңтайландыру әдістемесін әзірлеу. Зерттеу барысында жолдың тозу деңгейі мен жүк ағындарының әсерін ескере отырып, қолданыстағы техниканың тиімділігін арттыру және жөндеу жұмыстарының мерзімі мен шығындарын қысқарту жолдары анықталады.

Материалдар мен әдістер

Нарықтық конъюнктураның өзгеруі және Халықаралық тасымалдар көлемінің өсуі жағдайында, әсіресе көрші елдерден транзиттік жүк ағындары есебінен Қазақстанның теміржол инфрақұрылымына түсетін жүктеме айтарлықтай өсті. Бұл республиканың Қытай, Орталық Азия елдері, Ресей және Еуропалық Одақ арасындағы негізгі транзиттік буын болып табылатындығына байланысты. ҚР Көлік министрлігінің мәліметінше, соңғы он жылда тек Қазақстан аумағы арқылы транзиттік тасымалдар екі есеге жуық ұлғайды, бұл ретте олардың негізгі бөлігі теміржол арқылы жүзеге асырылады. Жүктеменің өсуінің қосымша факторы тасымалданатын жүктер номенклатурасын – энергия тасымалдаушылар мен кендерден бастап ауыл шаруашылығы өнімдері мен контейнерлік тасымалдарға дейін кеңейтуінен болды. Мәселен, «ҚТЖ» АҚ деректері бойынша 2025 жылдың қаңтар айында магистральдық желіде тиеу көлемі жылдық мәнде 7,3%-ға өсіп, 21,7 млн тоннаға жетті, бұл ретте экспорттық тасымалдар 13,4%-ға ұлғайды. Болжамдар мен жол карталарына сәйкес «Солтүстік-Оңтүстік» дәлізін жаңғырту жөніндегі шараларды іске асыру (оның ішінде 2027 жылға қарай оның өткізу қабілетін ағымдағы ≈ 6 млн тоннадан 10 млн тоннаға дейін және 2030 жылға қарай 20 млн тоннаға дейін ұлғайтуға мүмкіндік береді [3, 4]. Нәтижесінде теміржолдарды жаңғырту, техникалық қызмет көрсетуді күшейту және заманауи жөндеу технологияларын енгізу қажеттілігі артып келеді, бұл көлік жүйесінің тұрақты жұмыс істеуін және оның халықаралық логистикалық тізбектерге интеграциялануын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Қазақстанның теміржол инфрақұрылымы қазіргі жүктеме деңгейіне қарағанда айтарлықтай аз қарқынды көлік сұранысы жағдайында жобаланған.

Қазақстанның теміржол көлігінің 1-суретте 2014-2024 жылдар кезеңінде жүк айналымының өсуі көрсетілген. 2014 жылы бұл көрсеткіш шамамен 214 млрд т-км құрады, содан кейін 2024 жылы 327,9 млрд т-км-ге жеткен тұрақты өсу үрдісі байқалады. Ең қарқынды өсу 2017-2020 жылдары байқалды, жүк айналымы шамамен 40 млрд т-км-ге ұлғайды. 2021 жылдан бастап өсу қарқыны тұрақтанды, бұл саланың жыл сайынғы шамалы ауытқулармен тұрақты жұмыс істеуге көшуін көрсетеді [5].

Қазақстанның теміржол желісінің физикалық және моральдық тозу деңгейі 50%-дан асады, бұл инфрақұрылымдық элементтердің тозуының өте жоғары дәрежесін көрсетеді. Бұл туралы көлік министрі Нұрлан Сауранбаев 2025 жылғы 19 тамызда өткен Үкімет отырысында Магистральдық желі бүкіл теміржол саласының негізгі стратегиялық активі болып табылатынын атап өтті [5]. Жол шаруашылығының жай-күйі қозғалыс қауіпсіздігіне, көлік жүйесінің өткізу қабілеттілігі мен тұрақтылығына тікелей әсер етеді, бұл инфрақұрылымды жаңарту және жаңғырту проблемасын мемлекеттің салалық саясаты үшін басымдыққа айналдырады.

Қазақстанның теміржол инфрақұрылымының тозуы мен 2014-2024 жылдардағы жүк айналымы деңгейі арасындағы өзара байланыс 2-суретте көрсетілген.

1-сурет – Теміржол көлігінде жүктерді тасымалдау

Екі көрсеткіштің де тұрақты өсуі байқалады: жүк айналымы 214-тен 327,9 млрд т-км-ге дейін ұлғайған кезде инфрақұрылымның тозуы 38%-дан 57%-ға дейін өсті.

Жолдағы пайдалану жүктемесінің артуы жоғарғы құрылым элементтерінің физикалық және моральдық қартаюының жеделдеуімен қатар жүреді, бұл тасымалдау қарқындылығы мен тозу дәрежесі арасындағы тікелей өзара байланысты көрсетеді.

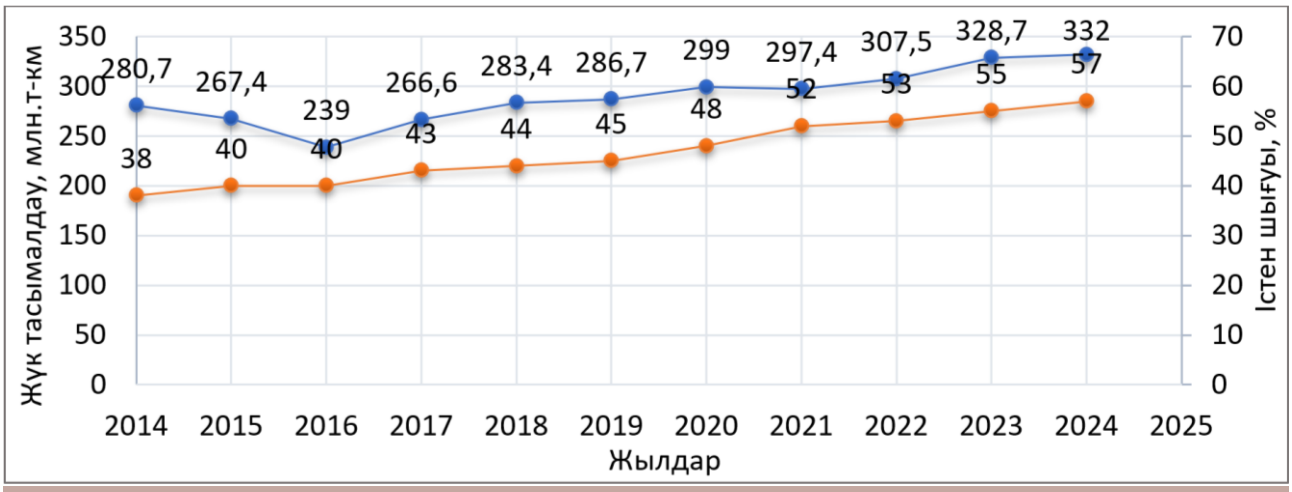
Теміржол жолының жай-күйін болжау жүктеме кернеулігі және ағымдағы және алдыңғы жылдардағы жолдың нақты тозуы деректері бойынша салынған квадраттық регрессиялық модель негізінде орындалды:

$$Y = 0,0016015X^2 - 0,7118X + 117,494, \quad (1)$$

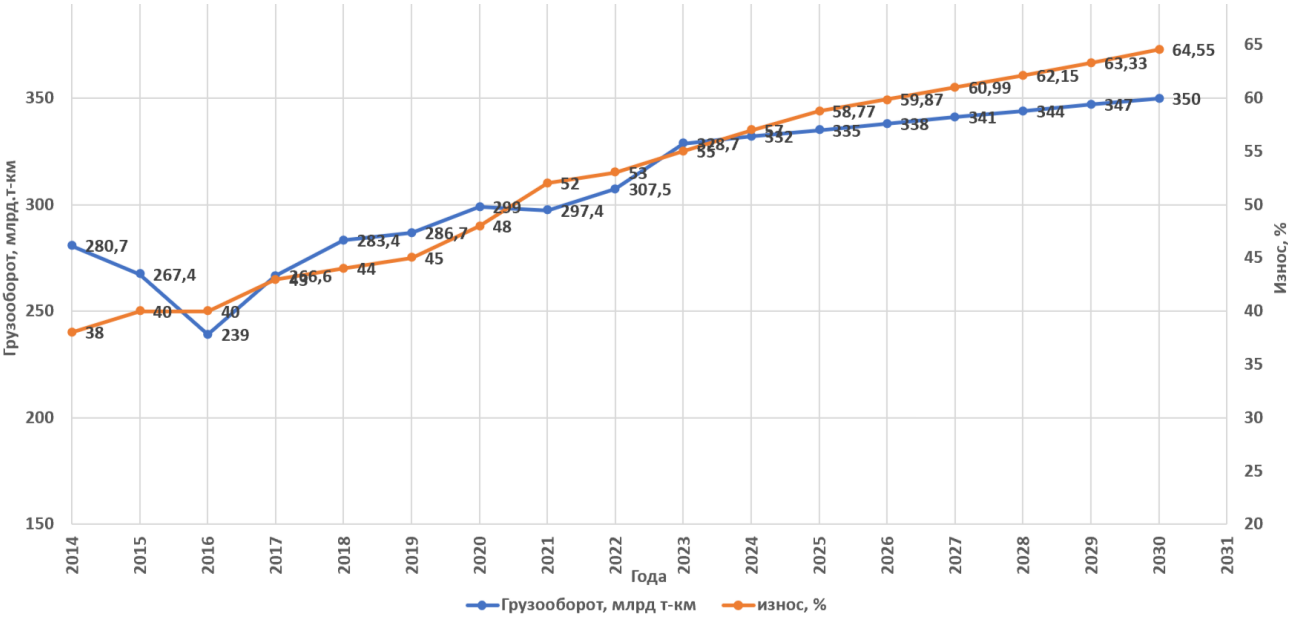
мұндағы Y – теміржолдың тозуының (техникалық жай-күйінің) интегралдық көрсеткіші,

X – жолдың жүк кернеуі немесе оның уақытша баламасы.

R^2 = 0,831 детерминация коэффициентінің мәні жолдың тозу вариациясының 83,1%-ы жүк кернеулігінің әсерімен түсіндірілетінін көрсетеді, бұл модельдің жоғары түсіндіру қабілетін және зақымданудың жинақталуының сызықтық емес сипатындағы жолдың деградациясын болжауға сәйкестігін көрсетеді. 3-суретте ағымдағы және ал-



2-сурет – Жүк айналымы мен жолдың тозуы арасындағы байланыс



3-сурет – Жолдың істен шығуы мен жүк тасымалы арасындағы қарым-қатынас болжамы

дыңғы жылдардағы деректер бойынша тозу деңгейінің жүк кернеулігіне тәуелділігін көрсететін және пайдалану жүктемесінің өсуі кезінде тозудың жинақталуының сызықтық емес сипатын растайтын теміржол жолының тозу болжамы көрсетілген.

Жүк кернеуінің ұлғаюы кезінде жолдың жоғарғы құрылымы элементтерінің тозуының болжамды өсуі алынған есептік мәндерді теміржол ұстауының белгіленген нормативтерімен салыстыруды талап етеді, өйткені бұл жолдың рұқсат етілген күйін және жөндеу жұмыстарының тиісті түрлерін жүргізу қажеттілігін анықтайтын нормативтік шектеулер. Кестеде жөндеу жұмыстарын тағайындау критерийлері және теміржол ақауларындағы жылдамдық шешімдері көрсетілген [6, 7].

Қазақстан Республикасында теміржолды пайдалануды, күтіп ұстауды және жөндеуді әртүрлі мақсаттағы жол машиналарының паркі бар мамандандырылған ұйымдар орындайды [8].

Еліміздің теміржол желісінде жолды түзету және ұру, балласт қабатын тазарту және жолдың жоғарғы құрылымының элементтерін жаңғырту жөніндегі жұмыстарды орындауға арналған жол қашықтығы машиналарын, жол қызметтері мен жеке мердігерлік ұйымдарды қоса алғанда, шамамен 543 бірлік жол техникасы пайдаланылады [9]. Бұл парк инфрақұрылымның жұмыс қабілеттілігін қамтамасыз етудің және жоспарлы және қалпына келтіру жөндеулерін жүргізудің негізгі техникалық ресурсы болып табылады, алайда машиналардың едәуір бөлігі кеңестік жобалау мектебінің техникасына жатады және физикалық және моральдық тозудың жоғары деңгейімен сипатталады. Сонымен қатар, жол машиналарының жаңадан шығарылған үлгілері де ескірген конструктивті және технологиялық шешімдерді сақтайды, бұл олардың қазіргі пайдалану жағдайларына сәйкестігін шектейді және оларды жаңарту қажеттілігін тудырады.

Сонымен қатар, қолданыстағы жоспарларда көзделген жөндеу іс-шараларының көлемі жүк кернеуінің өсуіне, жолдың тез тозуына және ескірген жобалау мектебіне жататын және жаңғыртуды талап ететін жол машиналарының едәуір бөлігінің техникалық мүмкіндіктерінің шектелуіне байланысты теміржол желісінің нақты қажеттіліктеріне толық сәйкес келмейді.

Ұсынылған алгоритм теміржол жолдарының болжамды техникалық жағдайын ескере отырып, жол жөндейтін машиналар паркінің оңтайлы нұсқасын таңдауға бағытталған. Әрбір баламалы нұсқа үшін экономикалық тиімділік көрсеткіші ретінде пайда мөлшері ($П_n$) анықталады, ол табыс (D_n) пен шығындардың (C_n) айырмасы арқылы есептеледі.

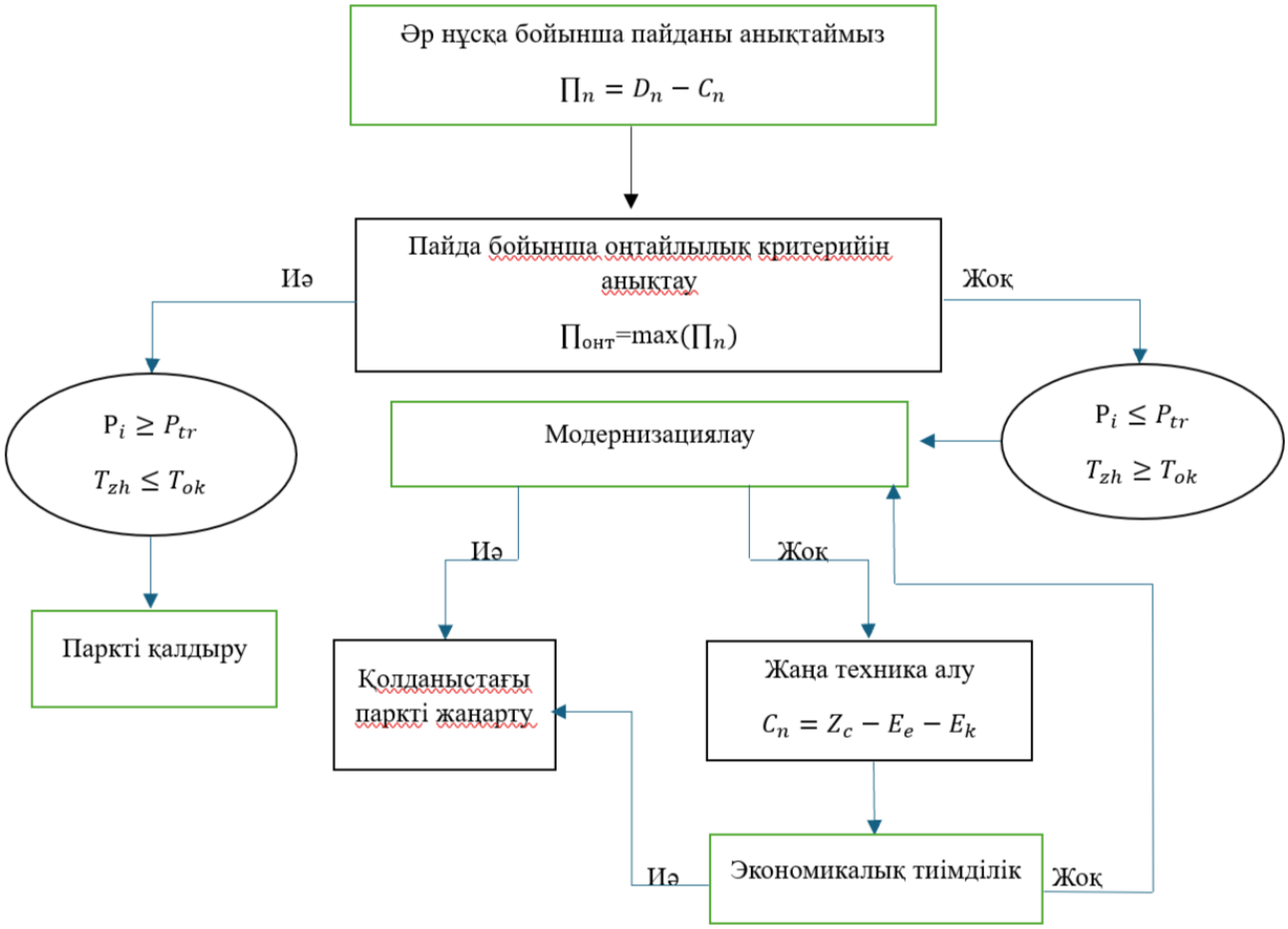
Алынған нәтижелер негізінде пайданың максималды мәніне сәйкес келетін оңтайлылық критерийі анықталады.

Одан әрі шешім қабылдау жолдың пайдалану көрсеткіштеріне байланысты жүзеге асырылады. Егер машиналар паркінің өнімділігі P_i белгіленген талапты деңгейден (P_{tr}) жоғары немесе тең болып, ал жөндеу уақыты T_{zh} нормативтік шектен (T_{ok}) аспайтын болса, қолданыстағы парк сақталады.

Аталған шарттар орындалмаған жағдайда, парк құрамын жетілдіру қажеттілігі туындайды. Бұл жағдайда модернизациялау мүмкіндігі қарастырылады. Егер модернизациялау техникалық және экономикалық тұрғыдан тиімді деп танылса, қолданыстағы

Жолдың жоғарғы құрылысының элементтері бойынша жұмыстарды тағайындаудың үлгілік критерийлері

Элемент/көрсеткіш	Рұқсат етілген	Шекара	Ұсынылатын жұмыс түрі
Рельстер: айқын байланысты-шаршау ақаулары	Жергілікті, бақылауда	Жүйелі даму / өсу	Тегістеу, рельсті ауыстыру (орташа / күрделі)
Рельстер: жарықтар, стратификациялар	Жоқ	Кез келген анықтау	Дереу шектеу/жою
Шпалдар: жарамсыздардың үлесі, %	≤ 10	≥ 20	Ақаулы жерлерде шпалдарды орташа жөндеу, ауыстыру
Бекіткіштер: ақаулық, %	≤ 15	≥ 25	Ағымдағы мазмұн, элементтерді көтеру/ауыстыру
Балласт: ластану, %	≤ 20	≥ 30	Балласты тазалау, толтыру, ұрып-соғу
Балласт: суға қанықтыру/шашырау	Жоқ	Болуы / қайталануы	Дренаж, түзету, учаскені орташа жөндеу



4-сурет – Теміржол жолдарының болжамды жағдайына байланысты жол жөндейтін машиналар паркінің оңтайлы нұсқасын таңдау алгоритмі

машиналар паркі жаңартылады.

Модернизациялау тиімсіз болған жағдайда жаңа техниканы сатып алу нұсқасы қарастырылады.

Нәтижелер

Зерттеу нәтижелері Қазақстан теміржол желілерінде жүк жүктемесінің ұлғаюы жол инфрақұрылымының тозуын жеделдететінін көрсетті. 2014-2024 жылдары жүк айналымы 214-тен 327,9 млрд т-км-ге дейін өсіп, инфрақұрылым тозуы 38%-дан 57%-ға дейін ұлғайды, бұл пайдалану әсерінің күшеюін және жөндеу көлемдерінің артуын негіздейді. «ҚТЖ» деректеріне сәйкес, 2025 жылғы қаңтарда тиеу көлемі 7,3% өсіп, 21,7 млн т құрады, экспорттық тасымалдар 13,4% артты, яғни магистральдық желіге түсетін жүктеме одан әрі өсуде.

Нормативтік шектеулер (жол элементтері бойынша рұқсат етілген/шекті мәндер және ақаулар кезіндегі жылдамдық шешімдері) негізінде жөндеу қажеттілігі нақтылап анықталды. Ұсынылған алгоритм «сақтау – модернизациялау – жаңа сатып алу» сценарийлері бойынша экономикалық тиімділік критерийін (П = D – C) қолдана отырып, жолдың болжамды жай-күйіне сәйкес парк құрамын таңдауға мүмкіндік береді. Талдау көрсеткендей, қолданыстағы шамамен 543 бірлік жол техникасының едәуір бөлігі физикалық және моральдық тұрғыдан ескіргендіктен, жоспарланған жөндеу көлемдерін орындауда өнімділік шектеулері мен бос тұрып қалу тәуекелі артады.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу Қазақстан Республикасының теміржол желілерінде жүк ағындарының өсуі мен транзиттік тасымалдардың күшеюі инфрақұрылымның жедел тозуына тікелей әсер ететінін және жөндеу жұмыстарын жоспарлауда дәстүрлі тәсілдердің тиімділігін төмендететінін дәлелдеді. 2014-2024 жылдары жүк айналымының 214-тен 327,9 млрд т-км-ге дейін өсуі және тозу деңгейінің 38%-дан 57%-ға дейін ұлғаюы жөндеу көлемдері мен техникалық ресурстарға деген қажеттіліктің тұрақты түрде артып келе жатқанын көрсетеді. Сонымен қатар, жолды күтіп ұстауға тартылған шамамен 543 бірлік жол техникасының едәуір бөлігі физикалық

және моральдық тұрғыдан ескіргендіктен, жөндеу бағдарламаларын орындауда бос тұрып қалу, өнімділіктің төмендеуі және технологиялық үзілістер тәуекелі күшейеді.

Зерттеудің ғылыми нәтижесі ретінде жолдың болжамды техникалық жай-күйін нормативтік шектермен өзара байланыстыра отырып, «сақтау – модернизациялау – жаңа сатып алу» сценарийлері бойынша шешім қабылдауға мүмкіндік беретін оңтайландыру алгоритмі ұсынылды. Бұл алгоритм парк құрамын тек ағымдағы қолда бар техникамен шектемей, жолдың болашақтағы тозу динамикасын ескеріп басқаруға мүмкіндік береді және экономикалық тиімділікті пайда максимумы (П = D – C) критерийі арқылы бағалауды қамтамасыз етеді.

Практикалық тұрғыдан ұсынылған әдістеме жол машиналары паркінің түрлік құрамын және санын жөндеу көлеміне сәйкестендіруге, техниканы пайдалану тәртібін нақтылауға, бос тұрып қалуды қысқартуға және өндірістік ресурстарды тиімді қайта бөлуге бағытталған. Соның нәтижесінде жөндеу бағдарламаларын орындау тұрақтылығы артып, инфрақұрылымның сенімділігі күшейеді, ал теміржол желісінің өткізу қабілеттілігін ұлғайтуға арналған стратегиялық міндеттерді іске асыруға нақты негіз қалыптасады.

Зерттеу шеңберінде алынған тұжырымдар жол шаруашылығын басқарудың деректерге негізделген моделіне өту қажеттілігін көрсетеді. Болашақта жұмысты дамыту бағыттары ретінде: жол жай-күйін болжаудың көпфакторлы модельдерін кеңейту (климаттық әсер, жер төсемі жағдайы, жөндеу тарихы), жол машиналарының сенімділігі мен қолжетімділігі көрсеткіштерін енгізу, сондай-ақ оптимизацияны нақты желілік учаскелер бойынша (дәліздер, бөлімшелер) калибрлеу ұсынылады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігінің Ұлттық статистика бюросы. Қазақстан Республикасындағы көлік және байланыс: статистикалық жинақ. – Астана, 2022. – 200 б.
2. Теміржол саласына шолу: нарықтық тетіктердің бұзылуы дамуға кедергі келтіруде [Электрондық ресурс]. https://halykfinance.kz/download/files/analytics/AC_railways.pdf
3. 2024 жылғы теміржол жүк тасымалдары нарығын талдау. – Бәсекелестікті дамыту жөніндегі аналитикалық зерттеу орталығы. – Астана, 2024. – 85 б.
4. Еуразиялық даму банкі. Еуразиялық көлік қаңқасы: аналитикалық баяндама. – Алматы, 2024. – 120 б.
5. Қазақстанда теміржол желілерінің тозу деңгейі 57%-ға жетті [Электрондық ресурс]. – Қолжетімді режим: https://kaz.zakon.kz/kogam-tynysy/6066511-azastanda-temrzhol-zhellern-tozuy-57a-zhetken.html
6. ҚР ҚН 3.03-114-2014. Теміржолдар. – Астана: Қазақстан Республикасы, 2014. – Қолданыстағы нұсқа. Қолжетімді: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=33033659
7. Қазақстан Республикасының теміржол көлігін техникалық пайдалану ережелері: Қазақстан Республикасы Инвестициялар және даму министрінің 2015 жылғы 30 сәуірдегі № 544 бұйрығы [Электрондық ресурс]. – https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500011897
8. Теміржол жолын ағымдағы күтіп ұстау жөніндегі нұсқаулық: процессор-774, 01.07.2000 ж. – Ресей Федерациясы, 2000. – 156 б. https://meganorm.ru/Data2/1/4293835/4293835543.pdf
9. Теміржол инфрақұрылымы мен жылжымалы құрам фотодерекқоры [Электрондық ресурс]. – https://trainfoto.ru/show.php?rid=3&sub=1

Оптимизация парка путевых машин в зависимости от прогноза состояния железнодорожных путей

*[1]*ОРАЗАЛИНА Аида Бауржановна,* докторант, orazalinaa77@mail.ru,
[2]BARTOSZ Wieczorek, PhD, профессор, bartosz.wieczorek@put.poznan.pl,
[1]БАТЫРБЕК Мөлдір Батырбекқызы, докторант, moldyr240597@mail.ru,
[3]БАЛАБЕКОВА Кырмызы Гинаятовна, PhD, ассоциированный профессор, balabekovakyrmyzy@gmail.com,
[4]МАУЛЕНОВА Асел Манатовна, докторант, asel.aseka.79@mail.ru,
*[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]Познаньский технический университет, площадь Марии Склодовской-Кюри, 5, Познань, Польша,
[3]НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан,
[4]АО «ALT Университет имени Мухамеджана Тынышпаева», ул. Шевченко, 97, Алматы, Казахстан,
автор-корреспондент.

Аннотация. *Предложен подход к оптимизации парка путевых машин на железнодорожной сети Казахстана с учётом прогнозируемого технического состояния пути. Исследование основано на анализе динамики грузооборота и износа инфраструктуры за 2014-2024 гг. и росте транзитной/экспортной нагрузки: грузооборот увеличился с 214 до 327,9 млрд т-км, износ вырос с 38% до 57%; по данным АО «ҚТЖ», в январе 2025 г. погрузка выросла на 7,3% до 21,7 млн т, экспортные перевозки – на 13,4%. Потребность в ремонте обоснована нормативными ограничениями по состоянию пути, скоростными решениями при дефектах и критериями назначения видов ремонта. Научная новизна состоит в разработке алгоритма принятия решений, который связывает прогноз состояния пути с нормативными порогами и обеспечивает выбор оптимального сценария «сохранение – модернизация – приобретение новой техники» по критерию максимизации прибыли (П = D – C). Практический результат представлен прикладной методикой формирования рационального состава (типы/количество) парка при наличии около 543 единиц путевой техники; её применение направлено на снижение простоев, повышение эффективности распределения ресурсов и обеспечение выполнения ремонтных программ при растущей эксплуатационной нагрузке.*

Ключевые слова: *железнодорожный путь, парк путевых машин, техническое состояние, путевая инфраструктура, износ пути, прогнозирование, эксплуатационная эффективность, надежность, оптимизация.*

Optimization of the Track Maintenance Machine Fleet Based on Forecasting the Condition of Railway Tracks

*[1]*ORAZALINA Aida,* Doctoral Student, orazalinaa77@mail.ru,
[2]BARTOSZ Wieczorek, PhD, Professor, bartosz.wieczorek@put.poznan.pl,
[1]BATYRBEK Moldir, Doctoral Student, moldyr240597@mail.ru,
[3]BALABEKOVA Kyrmyzy, PhD, Associate Professor, balabekovakyrmyzy@gmail.com,
[4]MAULENOVA Assel, Doctoral Student, asel.aseka.79@mail.ru,
*[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Poznan University of Technology, 5 Maria Sklodowska-Curie Square, Poznan, Poland,
[3]NPJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», 2 Satpayev Street, Astana, Kazakhstan,
[4]JSC «Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University», 97 Shevchenko Street, Almaty, Kazakhstan,
corresponding author.

Abstract. *This paper proposes an approach to optimize Kazakhstan's track maintenance machine fleet by incorporating forecasted railway track condition. The study analyzes freight*

turnover and infrastructure wear trends for 2014-2024 under growing transit/export loads: freight turnover increased from 214 to 327.9 billion t-km, while infrastructure wear rose from 38% to 57%; according to JSC «KTZ», in January 2025 mainline loading grew by 7.3% to 21.7 million tons, and export transportation increased by 13.4%. Maintenance demand is justified using regulatory track-condition thresholds, speed decisions under defects, and repair assignment criteria. The scientific novelty lies in a decision-making algorithm that explicitly links forecasted track condition to regulatory limits and selects the optimal «retain – modernize – renew» scenario using profit maximization (П = D – C) as the objective. The practical outcome is an applied methodology for defining the rational fleet composition (machine types/quantity) for planned maintenance volumes in a system operating approximately 543 units of track machinery; it is intended to reduce equipment downtime, improve resource allocation, and enhance maintenance program deliverability under increasing operational loads.

Keywords: *railway track, track maintenance machine fleet, technical condition, track infrastructure, track deterioration, forecasting, operational efficiency, reliability, optimization.*

REFERENCES

1. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. Transport and Communications in the Republic of Kazakhstan. Statistical Yearbook. – Astana, 2022.
2. Overview of the Railway Industry: Disruptions of Market Mechanisms Hamper Development. Halyk Finance Analytical Report.Available at: https://halykfinance.kz/download/files/analytics/AC_railways.pdf
3. Rail Freight Transportation Market Analysis, 2024. Analytical Research Center for Competition Development, 2024.
4. Eurasian Development Bank. Eurasian Transport Framework. – Almaty, 2024.
5. Railway Network Wear in Kazakhstan Has Reached 57%. Available at: https://kaz.zakon.kz/kogam-tynysy/6066511-azastanda-temrzhol-zhellern-tozuy-57a-zhetken.html
6. SP RK 3.03-114-2014 «Railways» (Republic of Kazakhstan). Online version (Zakon.kz): https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=33033659
7. Rules for the Technical Operation of Railway Transport of the Republic of Kazakhstan. Order of the Minister of Investments and Development of the Republic of Kazakhstan No. 544 dated April 30, 2015. Available at: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500011897
8. Instruction for Routine Maintenance of Railway Track (01.07.2000, Processor-774). Railway Infrastructure Department of the Russian Federation. PDF available at: https://meganorm.ru/Data2/1/4293835/4293835543.pdf
9. Railway Infrastructure and Rolling Stock Photo Database. Available at: https://trainfoto.ru/show.php?rid=3&sub=1

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_200 ӘОЖ 625.8

Микросилика құрамының байытылған қож қиыршық тас толтырғышы бар көлік магистральдарының асфальтбетон жабынының аязға төзімділігіне әсері

***КУНАЕВ Вячеслав Александрович,** PhD, ғылым және инновациялар департаментінің директоры, доцент, жетекші ғылыми қызметкер, kunaev91@list.ru,
БАТЫРБЕК Әлібек Есімбекұлы, докторант, ғылыми қызметкер, a.batyrbek@tttu.edu.kz,
ТАВШАНОВ Ильгар Сулейманович, оқытушы, ғылыми қызметкер, i.tavshanov@tttu.edu.kz,
АХМЕТОВА Гульжайнат Есенжоловна, PhD, доцент, жетекші ғылыми қызметкер, agulzhajnat@bk.ru,
ДЕРЕШЕВ Андрей Владимирович, магистрант, a.dereshev@tttu.edu.kz,
«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Микросиликаны битумның тұтқыр құрамына енгізу арқылы байытылған домна қожымен толтырылған асфальтбетонның аязға төзімділігін арттыру мәселесі қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – күрт континенталды климат жағдайында пайдалануға арналған автомобиль жолдарының асфальтбетон жабындарының аязға төзімділігіне байытылған қож толтырғыш пен микросиликаның әсерін бағалау. Асфальтбетон қоспаларын зертханалық дайындау және аязға төзімділікті сынау, эксперименттік деректерді математикалық өңдеу әдістері қолданылды. Битум массасынан 12% микросилика қосылған кешенде байытылған толтырғышты қолдану асфальтбетонның аязға төзімділігін арттыратыны анықталды. Бұл оны мұздату-еріту циклдарының жиі қайталануымен күрт континенталды климат жағдайында пайдалануға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер жол жабындарының беріктігін арттыруға және жолдардағы апаттарды азайтуға, сондай-ақ көлік құралдарының жүріс бөлігінің тозуын төмендетуге ықпал етеді.*

Кілт сөздер: *автомобиль жолдары, көлік инфрақұрылымы, асфальтбетон, аязға төзімділік, көлік жүктемелері, қож толтырғышы, микросилика.*

Кіріспе

Автомобиль жолдары экономика мен елдің тұрақты жұмыс істеуін қамтамасыз ететін көлік инфрақұрылымының негізгі элементі болып табылады. Қазақстан Республикасын қоса алғанда, күрт континенталды климаты бар өңірлерде жол жабындарын пайдалану қарқынды циклдік көлік жүктемелерінің, сондай-ақ жыл бойы бірнеше рет мұздату-еріту циклдерінің әсерімен қатар жүреді, бұл асфальтбетон жабындарының тез бұзылуына, жарықтардың, шұңқырлардың және ойықтардың пайда болуына әкеледі [1-3].

Мұндай жағдайлар автомобиль жолдарының пайдалану сенімділігінің төмендеуінің маңызды себептерінің бірі-асфальтбетонның аязға төзімділігінің жеткіліксіздігі, әсіресе көлік ағындары мен климаттық факторлардың әсерін тікелей қабылдайтын жабынның жоғарғы қабаттарында. Жол жабындарының мерзімінен бұрын бұзылуы жөндеу аралық мерзімдердің қысқаруына, жолдарды күтіп ұстау шығындарының ұлғаюына және жол қозғалысы қауіпсіздігінің төмендеуіне әкеледі (1-сурет), бұл бірқатар ғылыми басылымдарда баяндалған зерттеу нәтижелерімен расталады [4-5].

Қазіргі уақытта металлургия өндірісінің жанама өнімдерін, атап айтқанда домна қождарын жол жабындарының құрылымындарында қолдану айтарлықтай ғылыми және практикалық қызығушылық тудырады. Алдын ала байытылған қож толтырғышы дәндердің жақсартылған пішінімен (кубтәріздіге

а) б) в)

а – жеңіл автомобильдің терең жол шұңқырынан өтуі; б – автомобильдің жол шұңқырына түсуінен туындаған ЖКО салдары (Алматы қ., Қазақстан Республикасы); в – асфальтбетон жабынының жол қозғалысының траекториясына және жол қозғалысының қауіпсіздігіне әсері

1-сурет – Жол жабыны ақауларының көлік құралдарының қозғалыс жағдайына және апатқа әсері

жақын) және әлсіз фракциялардың төмендеуімен сипатталады, бұл асфальтбетонның беріктігі мен төзімділігін арттыруға көмектеседі, мұндай толтырғыш пайдалану әсерін арттыруға ықпал етеді [6-7].

Жол жабындарының пайдалану сипаттамаларын қосымша арттыруға асфальтбетонның минералды бөлігінің құрылымын тығыздауға, судың қанықтылығын төмендетуге және нәтижесінде материалдың аязға төзімділігін арттыруға ықпал ететін микросиликаны (кремний өндірісінің жанама өнімі болып табылатын) қолдану арқылы қол жеткізуге болады. Жиынтықта бұл факторлар модификацияланған (металлургиялық және кремний өндірісінің жанама өнімдерін қосу арқылы) асфальтбетон қоспаларын күрт континенталды климат жағдайында пайдаланылатын автомобиль жолдарының беріктігін арттырудың перспективалық шешімі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Зерттеудің мақсаты алдын ала байытылған қож толтырғыш пен микросиликаның күрт континенталды климат жағдайында қарқынды көлік жүктемелері кезінде пайдалануға арналған автомобиль жолдарының асфальтбетон жабындарының аязға төзімділігіне әсерін зертханалық бағалау болып табылады.

Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер шешілді:

- асфальтбетон қоспаларын ірі толтырғыш ретінде алдын ала байытылған қож қиыршық тасты және битумның тұтқыр құрамындағы микросиликаның өзгермелі құрамын пайдалана отырып дайындау;
- Маршалл әдісімен тығыздау арқылы цилиндрлік үлгілерді дайындау.
- алынған үлгілердің аязға төзімділігін анықтау;
- эксперименттік деректерді математикалық өңдеу;
- максималды аязға төзімділік критерийі бойынша модификацияланған битумның тұтқыр құрамындағы микросиликаның оңтайлы құрамын анықтау;
- зерттеу нәтижелерін талқылау.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы битумның тұтқыр құрамындағы микросилика құрамын мұздату-еріту циклдарының берілген санынан кейін асфальтбетонның беріктігін жоғалтуға әсер ету заңдылықтарын анықтау.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Сынақтар үшін бірдей гранулометриялық құрамы бар асфальтбетон үлгілері (1-кесте) пайдаланылды, олардың құрамы (микросилика) битум массасының пайызымен есептелген (2-кесте).

Микросиликаны берілген пропорцияда енгізу тікелей араластыру температурасына дейін қыздырылған (150°С) битумға жүзеге асырылды. Осылайша өзгертілген битумның тұтқыр құрамын минералды толтырғышпен араластыру ЛС-АБ-10 араластырғышында жүзеге асырылды. Үлгілерді қалыптау Маршалл компакторында арнайы пішіндерде (ішкі диаметрі – 101.6 мм) жасалды, үлгінің әр жағынан 4535 г балғамен 50 соққы жасады.

Алынған асфальтбетон үлгілерінің аязға төзімділігін бағалау МЕСТ 12801-98 талаптарына сәйкес жүзеге асырылды. Аязға төзімділік 50 мұздату-еріту циклі әсер еткеннен кейін алдын ала қаныққан үлгілерді сығу кезінде беріктіктің жоғалу шамасы бойынша бағаланды.

Алдын ала қанықтырудан өткен асфальтбетон үлгілері МК-110 мұздатқыш камерасына жүктелді (2-сурет, а). Мұздатудың басталуы үшін мұздатқыш камераға -18±2°С температураны орнату сәті қабылданды (2-сурет, б).

1-кесте – Эксперименттік асфальтбетон қоспаларының минералды толтырғышының гранулометриялық құрамы

Ұяшық өлшемі	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
Ұяшықтардың берілген мөлшері бар електен өткен дәндердің үлесі, массасы бойынша %	100	92	72	60	46	33,5	26	18	13	9,5	4,5

2-кесте – Асфальтбетон қоспаларының құрамы

Қоспаның №	Үлкен толтырғыш	Ұсақ толтырғыш	Минералды ұнтақ	Тұтқыр	Микросиликаның құрамы, битум массасына %-бен
1	Қож қиыршық тас: - алдын ала байытылған 19-25 мм фракциялар; - өңдеуі жоқ 4,75-19 мм фракциялар	0,075-4,75 мм фракциясының қожды құмы	Ұнтақталған домна қождары (фракциясы 0,075 мм-ден аз)	БНД 90/130 битумы	0
2					3
3					6
4					9
5					12
6					15
7					18

Әр мұздатудың ұзақтығы кем дегенде 4 сағатты құрады. Әрбір мұздатудан кейін үлгілер мұздатқыштан түсіріліп, еріту үшін суы бар контейнерге орналастырылды (18±2°С температурада). 50 мұздату-еріту циклін өткізгеннен кейін асфальтбетон үлгілері 20°С температурада суда 2 сағат ұсталды (2, в-сурет). Осыдан кейін әрбір үлгі үшін МЕСТ 12801-98 15-бөліміне сәйкес МПа-да беріктік шегі анықталды (2-сурет, г).

ΔR сығымдау кезінде беріктіктің жоғалуын есептеу $R_{всж}$ су қанықкан үлгілерінің (20±2) °С температурасында сығымдау кезіндегі беріктік шегінің белгілі көрсеткіштері және мұздату-ерітудің 50 циклынан өткен үлгілердің бірдей температурасында сығымдау кезіндегі беріктік шегі бойынша келесі $R_{мсж}$ формуласы бойынша жүзеге асырылды:

$$\Delta R = \frac{R_{всж} - R_{мсж}}{R_{всж}}.$$

Ғылыми нәтижелер. Аязға төзімділікті сынау үшін 1-7 асфальтбетон қоспаларынан салмағы 1200 (±5) г болатын 6 үлгі алынды. Әр қоспаның 3 үлгісі үшін суға қанықкан күйдегі қысу беріктігі анықталды, ал сол қоспаның 3 басқа үлгісі үшін 50 мұздату-еріту циклінен өткеннен кейін ұқсас көрсеткіш анықталды. Алынған беріктік шегі мәндері бойынша әр қоспаның массалық жоғалту мәндері есептелді. Қорытынды мән үшін әр қоспаның үш параллель сынақтың орташа арифметикалық мәні алынды.

Битумның тұтқыр құрамындағы микросилика мөлшерін аязға төзімділік сынақтарынан кейін, үлгілердің массасының жоғалуына әсерін бағалаудан алынған нәтижелері 3-суретте көрсетілген.

3-суреттен көріп отырғанымыздай, микросиликасыз бақылау құрамы үшін беріктіктің жоғалуы 25,5% құрайды, бұл асфальтбетонның климаттық әсерге шектеулі тұрақтылығын көрсетеді және күрт континенталды климат жағдайында автомобиль жолдарын пайдалану кезінде қоспаның құрылымын өзгерту қажеттілігін растайды.

Микрокремнеземді 3-9% мөлшерінде енгізу кезінде беріктік жоғалуының 24,18-22,35% мәндеріне дейін біртіндеп төмендеуі байқалады, бұл жұқа дисперсті компоненттің асфальтбетонның мұздату-еріту циклдерінің әсеріне төзімділігіне оң әсерін көрсетеді.

Ең айқын әсерге битумды тұтқыр массасының 12% микросилика мөлшерінде қол жеткізіледі және беріктіктің жоғалуы 18,18%-ға дейін төмендейді, бұл модификацияланбаған құраммен салыстырғанда беріктік сипаттамаларының деградациясының шамамен 29%-ға төмендеуіне сәйкес келеді. Бұл нәтиже асфальтбетонның неғұрлым тығыз және тұрақты битум-минералды құрылымының қалыптасуын көрсетеді.

а)

б)

в)

г)

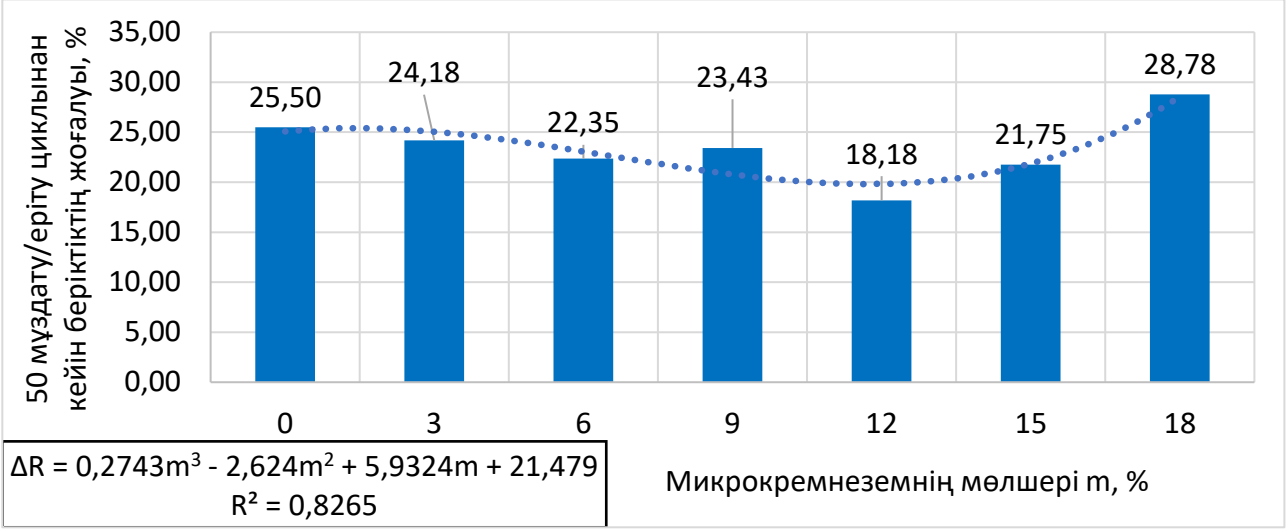
а – мұздату; б – жылу түсіргіштің көмегімен температуралық режимнің сақталуын бақылау; в – еріту; г – беріктік шегін анықтау

2-сурет – Асфальтбетон үлгілерінің аязға төзімділігін зертханалық бағалау

Микросиликаның мөлшерін одан әрі 15-18%-ға дейін ұлғайту кезінде беріктік шығындарының өсуі байқалады, ал 18%-нда бұл көрсеткіш максималды мәнге жетеді (28,78%). Бұл микросиликаның артық мөлшерінің қоспаның құрылымына теріс әсерін көрсетеді.

Алынған нәтижелер микросиликаның асфальтбетонның аязға төзімділігіне әсерінің сызықтық емес сипатын көрсетеді, бұл жуықтаудың аппроксимациялау теңдеуінің жеткілікті жоғары сенімділік коэффициентімен (0,8265) расталады, ол ең дәл (сызықтық, экспоненциалды және логарифмдік теңдеулермен салыстырғанда) алынған эксперименттік тәуелділікті сипаттайды. Біздің ойымызша, микросиликаны 12%-ға дейін ұстаған кезде аязға төзімділіктің жақсаруы келесі факторларға байланысты:

- микрокеуектерді толтыру арқылы минералды қаңқаны тығыздау;
- неғұрлым тұтқыр және тұрақты битум-



3-сурет – Битумның тұтқыр құрамындағы микросилика мөлшері байытылған қож толтырғышы бар асфальтбетонның аязға төзімділігіне әсері

минералды мастиканың қалыптасуы;

- судың қанығуының төмендеуі және соның салдарынан кеуектердегі судың қатуы кезінде ішкі кернеулердің төмендеуі.

Автомобиль жолдарын пайдалану тұрғысынан бұл мұздату-еріту циклдары мен көлік жүктемелерінің әсерінен пайда болатын жарықтар мен шұңқырлардың пайда болу қарқындылығының төмендеуіне әкеледі.

Осылайша, алынған мәліметтер асфальтбетонның максималды аязға төзімділігіне қол жеткізілетін битумды тұтқыр массасынан микросиликаның оңтайлы мөлшерінің болуын растайды. Қарастырылып отырған жағдайларда бұл мән мұздату-еріту циклдарынан кейін беріктіктің ең аз жоғалуын қамтамасыз ететін микросиликаның 12% мөлшері болып табылады.

Қорытынды

1. Микросиликаны енгізу арқылы алдын ала байытылған қож толтырғышына негізделген асфальтбетон қоспаларына арналған битумды тұтқыр құрамын өзгерту күрт континенталды климат жағдайында пайдалануға арналған жол жабындарының аязға төзімділігін басқарудың тиімді құралы болып табылады.

2. Микросиликаның асфальтбетонның аязға төзімділігіне әсері сызықтық емес екені анықталды, бұл жұқа дисперсті компоненттер үлесінің ресми өсуіне емес, автомобиль жолдары үшін асфальтбетон қоспаларының құрамын жобалау кезінде оның құрамын оңтайландыру қажеттілігін көрсетеді.

3. Микросиликаны битум тұтқыр массасының 12% пропорциясында қосу бақылау қоспасымен және микросиликаның аз және көп мөлшерімен салыстырғанда мұздату-еріту циклдарынан кейінгі беріктіктің ең аз жоғалуын қамтамасыз ететіні анықталды.

4. Алынған нәтижелер көлік инжинирингі үшін практикалық маңызға ие, өйткені асфальтбетон жабындарының аязға төзімділігін арттыру пайдалану ақауларының пайда болу қарқындылығын төмендетуге және соның салдарынан жол қозғалысы қауіпсіздігін арттыруға ықпал етеді.

Қаржыландыру туралы мәліметтер.

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын зерттеу шеңберінде орындалды (грант № AP22786668).

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Котлярский Э.В. Морозостойкость асфальтобетона // Construction materials. – 2011. – № 5. – С. 81-83. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/morozostoykost-asfaltobetona.
2. Lu F., Si W. Reliability risk modelling of asphalt pavement structure performance under the impact of freeze-thaw cycles // Case Studies in Construction Materials. – 2024. – 20. – e03054. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03054.
3. Cao H., Chen T., Zhu H., Ren H. Influence of frequent freeze–thaw cycles on performance of asphalt pavement in high-cold and high-altitude areas // Coatings. – 2022. – 12. – 752. https://doi.org/10.3390/coatings12060752.
4. Fares A. & Wong M.N., Zayed T., Faris N. Impact of rutting on traffic safety: a synthesis of research findings // Applied Sciences. – 2024. – 15. – 253. https://doi.org/10.3390/app15010253.
5. Al-Masaeid H., Assolie A., Al Migdady A. Effect of Pavement Conditions on Urban Road Accidents // Jordan Journal of Civil Engineering. – 2025. – 19. – Б. 74-85. https://doi.org/10.14525/JJCE.v19i1.06.
6. Kunaev V., Akhmetova G., Zhautikov B., Batyrbek A., Tavshanov I., Charnyi D., Kydyrbayeva S., Kamarova S., Fathi M.S., Suleyev B. Enhancing physical-mechanical properties of coarse slag aggregate via selective crushing for asphalt concrete // Results in Engineering. – 2025. – 26. – 105368. URL: https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105368.
7. Kunaev V., Bazarov B., Kadyrov A., Konakbaeva A. Selective crushing, enrichment by friction properties and hydrophobization for obtaining the sustainable blast furnace slag aggregate for road subbase // Ain Shams Engineering Journal. – 2024. – 15 (9). – 02928. https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102928.

Влияние содержания микросилики на морозостойкость асфальтобетонного покрытия транспортных магистралей с заполнителем из обогащенного шлакового щебня

***КУНАЕВ Вячеслав Александрович,** PhD, директор департамента науки и инноваций, доцент, ведущий научный сотрудник, kunaev91@list.ru,*
***БАТЫРБЕК Әлібек Есімбекұлы,** докторант, научный сотрудник, a.batyrbek@tttu.edu.kz,*
***ТАВШАНОВ Ильгар Сулейманович,** преподаватель, научный сотрудник, i.tavshanov@tttu.edu.kz,*
***АХМЕТОВА Гульжайнат Есенжоловна,** PhD, доцент, ведущий научный сотрудник, agulzhajnat@bk.ru,*
***ДЕРЕШЕВ Андрей Владимирович,** магистрант, a.dereshev@tttu.edu.kz,*
НАО «Карагандинский индустриальный университет», пр. Республики, 30, Темиртау, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Рассматривается вопрос повышения морозостойкости асфальтобетона с заполнителем из обогащенного доменного шлака путем введения микросилики в битумное вяжущее. Цель исследования – оценка влияния обогащённого шлакового заполнителя и микросилики на морозостойкость асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог, предназначенных для эксплуатации в условиях резко континентального климата. Использовались методы лабораторного приготовления асфальтобетонных смесей и испытаний на морозостойкость, математической обработки экспериментальных данных. Установлено, что применение обогащённого заполнителя в комплексе с добавлением 12% микросилики от массы битума повышает морозостойкость асфальтобетона. Это позволяет использовать его в условиях резко континентального климата с частым повтором циклов замораживания-оттаивания. Полученные результаты способствуют увеличению долговечности дорожных покрытий и снижению аварийности на дорогах, а также износа ходовой части транспортных средств.*

***Ключевые слова:** автомобильные дороги, транспортная инфраструктура, асфальтобетон, морозостойкость, транспортные нагрузки, шлаковый заполнитель, микросилика.*

The Effect of the Microsilica Content on the Frost Resistance of Asphalt Concrete Pavement of Highways with Enriched Slag Aggregate

***KUNAEV Vyacheslav,** PhD, Director of the Department of Science and Innovation, Associate Professor, Leading Researcher, kunaev91@list.ru,*
***BATYRBEK Alibek,** Doctoral Student, Researcher, alibek_batyrbek@inbox.ru,*
***TAVSHANOV Ilgar,** Lecturer, Researcher, i.tavshanov@tttu.edu.kz,*
***AKHMETOVA Gulzhainat,** PhD, Associate Professor, Leading Researcher, agulzhajnat@bk.ru,*
***DERESHEV Andrey,** Master's Student, a.dereshev@tttu.edu.kz,*
NPJSC «Karaganda Industrial University», 30 Republic Avenue, Temirtau, Kazakhstan,
**corresponding author.*

***Abstract.** The article discusses the issue of increasing the frost resistance of asphalt concrete with aggregate on the basis of the enriched blast furnace slag by introducing microsilica into bitumen binder. The purpose of the study is to evaluate the effect of enriched slag aggregate and microsilica on the frost resistance of asphalt concrete pavement intended for operation in a continental climate. Methods of laboratory preparation of asphalt concrete mixtures, frost resistance tests, mathematical processing of experimental data were used. It has been established that the use of enriched slag aggregate in combination with the addition of 12% of the microsilica by weight of bitumen increases the frost resistance of asphalt concrete. This allows it to be used in a continental climate with frequent repetition of freeze-thaw cycles. The findings contribute to enhancing pavement durability, improving road safety, and reducing the operational wear of vehicle chassis systems.*

***Keywords:** highways, transport infrastructure, asphalt concrete, frost resistance, traffic loads, slag aggregate, microsilica.*

REFERENCES

1. Kotljarskij Je.V. Morozostojkost' asfal'tobetona // Construction materials. – 2011. – № 5. – Pp. 81-83. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/morozostoykost-asfaltobetona.
2. Lu F., Si W. Reliability risk modelling of asphalt pavement structure performance under the impact of freeze-thaw cycles // Case Studies in Construction Materials. – 2024. – 20. – e03054. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03054.
3. Cao H., Chen T., Zhu H., Ren H. Influence of frequent freeze-thaw cycles on performance of asphalt pavement in high-cold and high-altitude areas // Coatings. – 2022. – 12. – 752. https://doi.org/10.3390/coatings12060752.
4. Fares A. & Wong M.N., Zayed T., Faris N. Impact of rutting on traffic safety: a synthesis of research findings // Applied Sciences. – 2024. – 15. – 253. https://doi.org/10.3390/app15010253.
5. Al-Masaeid H., Assolie A., Al Migdady A. Effect of Pavement Conditions on Urban Road Accidents // Jordan Journal of Civil Engineering. – 2025. – 19. – 74-85. https://doi.org/10.14525/JJCE.v19i1.06.
6. Kunaev V., Akhmetova G., Zhautikov B., Batyrbek A., Tavshanov I., Charnyi D., Kydyrbayeva S., Kamarova S., Fathi M.S., Suleyev B. Enhancing physical-mechanical properties of coarse slag aggregate via selective crushing for asphalt concrete // Results in Engineering. – 2025. – 26. – 105368. URL: https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105368.
7. Kunaev V., Bazarov B., Kadyrov A., Konakbaeva A. Selective crushing, enrichment by friction properties and hydrophobization for obtaining the sustainable blast furnace slag aggregate for road subbase // Ain Shams Engineering Journal. – 2024. – 15 (9). – 02928. https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102928.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_207 UDC 629.083(574)=111

Development of a Methodology for Evaluating the Efficiency of Repair Intervals of Mining Equipment at KazMinerals Bozshakol

[1]**KUKESHEVA Aliya,** *PhD, Senior Lecturer, aliya.kukesheva@bk.ru,*
[1]***DARIBZHAN Miras,** *Doctoral Student, miras9779@gmail.com,*
[2]**SAKHAPOV Rustem,** *Dr. of Tech. Sc., Professor, rustem@sakhapov.ru,*
[1]**KADYROV Adil,** *Dr. of Tech. Sc., Professor, adil.suratovich@mail.ru,*
[1]**KARSAKOVA Akbope,** *PhD, Acting Associate Professor, karsakova84@mail.ru,*
[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Kazan (Volga) Federal University, 18 Kremlevskaya Street, Kazan, Tatarstan, Russia,
**corresponding author.*

***Abstract.** This article examines the optimization of maintenance frequency for mining equipment not only from a technical perspective but also from an economic one. The study focuses on the steering cylinders of CAT 16M and 16M3 motor graders operating at the KazMinerals Bozshakol mine. Based on actual production statistics, the failure rates of the components and the costs of repairs were analyzed, and the cost structures of planned and unplanned repairs were compared. According to a four-cycle repair methodology, the exact list of spare parts was defined, and the material and time-related costs of each cycle were comprehensively assessed. The calculations provided a financial comparison of two optimal repair intervals – 7000 and 12000 engine hours. The methodology, which included both total costs and downtime losses, showed that the 12000-hour interval is more cost-effective. This approach allows maintenance strategies to be justified not only in terms of reliability but also in terms of economic efficiency.*

***Keywords:** repair interval, economic efficiency, maintenance, mining equipment, cost structure, engine hours, production downtime.*

Introduction

The efficiency of mining equipment depends not only on technical reliability but also on repair and operating costs [2; 3]. Earlier studies identified optimal repair intervals from operating data and failure statistics [1], yet in practice decisions are driven largely by financial efficiency [5; 9]. Economic evaluation of repair intervals requires analyzing both direct repair expenses and indirect downtime losses, as idle equipment reduces output and increases costs [4; 10].

In scheduled maintenance, too short intervals reduce effective operating time, while too long intervals raise failure risks and unplanned repairs, both leading to inefficiency. Thus, the optimal interval should minimize total costs. At this stage, actual statistics on planned and unplanned repairs (number, type, and operating hours) and their cost structures are used to compare two intervals – 7000 and 12000 hours [1; 10]. The analysis covers not only spare parts and labor but also downtime-related production losses.

The study's objective is to confirm the economic efficiency of previously identified optimal intervals [1] by calculating total costs under each scenario and determining which better reduces production expenses. This ensures that maintenance strategies are justified not only technically but also economically.

To achieve this objective, the following tasks were carried out step by step:

1. Analysis of the cost structure of planned and unplanned repairs of steering cylinders.
2. Development of a cyclic repair methodology based on the optimal repair interval.
3. Economic comparison of two different repair intervals using the developed methodology.

Scientific Novelty

The paper introduces a new methodology based on shortening maintenance intervals. Through a four-cycle repair framework, material, time, and production downtime costs were comprehensively considered, and the econom-

ic efficiency of 7000 and 12000 engine-hour intervals was compared. This approach allows the evaluation of maintenance strategies from a techno-economic balance perspective.

Practical Significance

The findings provide a solid basis for revising repair intervals at enterprises such as KazMinerals Bozshakol. The 12000 engine-hour interval reduces the frequency of scheduled repairs, lowers costs, and minimizes production downtime. The proposed methodology enables the adaptation of repair schedules, better planning of spare parts, and more efficient utilization of equipment.

Materials and Methods

In line with the research objective, effective maintenance of mining equipment requires consideration not only of the failure frequency of components but also of economic indicators. For this reason, the costs associated with restoring steering cylinders were analyzed based on data from the previous study [1].

The analysis revealed that the costs of unplanned repairs (16,052,951 KZT) were significantly higher than those of planned repairs (15,674,409 KZT). Although the number of repaired components was nearly the same (planned – 17, unplanned – 15), unplanned repairs incurred higher expenses. Therefore, it becomes necessary to examine each case of unplanned repair separately [10].

Accordingly, the complete list of spare parts influencing the cost of both planned and unplanned repair activities is presented in Table 1 [10].

Analysis of Table 1 shows that spare parts numbered 1-12, considered standard components, are consistently replaced in both planned and unplanned repairs. However, certain failures are observed only in unplanned repairs, such as rod breakage, sleeve surface tearing, piston detachment from the rod, and head surface scratches. In such cases, additional non-standard components, including the sleeve, head, and piston, must also be replaced (Figure 1) [1; 10]. As a result, although the number of unplanned repairs is lower, their total cost is significantly higher than that of planned repairs. This demonstrates both the severity of the damage and the heavier financial burden associated with unplanned failures.

Thus, the planned repair intervals for steering cylinders should be reconsidered, as the current strategy fails to ensure full reliability, leading to frequent unscheduled repairs and higher costs. Optimizing intervals prevents premature wear, lowers restoration expenses, and increases efficiency [2; 7]. Therefore, maintenance schedules must be justified not only technically but also economically [6; 9].

The proposed four-cycle methodology specifies required spare parts for each cycle, distinguishing between standard and non-standard components, while also accounting for down-

Table 1 – List of spare parts frequently used in unplanned failure cases and planned repairs

№	Part number	Part name	Quantity	Price (KZT)	Type of repair
1	2675257	Position sensor	1	406,648.7	Planned/Unplanned
2	4D-0298	Bearing	1	39,917.1	Planned/Unplanned
3	2606117	Ball joint	1	100,166.4	Planned/Unplanned
4	4264335	Pin	1	38,262.7	Planned/Unplanned
5	3076273	Cylinder seal kit	1	65,992.7	Planned/Unplanned
6	2173312	Magnetic ring	1	30,940.1	Planned/Unplanned
7	4381542	Bushing	2	15,406.6	Planned/Unplanned
8	435-3388	Receiver	1	19,622.5	Planned/Unplanned
9	2761816	Protective cover	1	16,102.83	Planned/Unplanned
10	2493505	Bearing race	1	14,733.78	Planned/Unplanned
11	8B1002	Nut	1	10,733.09	Planned/Unplanned
12	4418164	Dust seal (boot)	1	6,169.45	Planned/Unplanned
13	2673865	Rod	1	283,029.42	Unplanned
14	2673864	Sleeve	1	177,882.48	Unplanned
15	1517038	Head	1	129,275.96	Unplanned
16	1517038	Piston	1	33,409.71	Unplanned

Figure 1 – Types of defects during unscheduled repair works

time-related production losses [7; 9; 10]. This approach reduces overall costs and supports production stability. Table 2 shows the total spare parts costs per cycle: cycle 1 includes parts 2-12, cycle 2 parts 1-13, cycle 3 parts 1-14 plus 16, and cycle 4 all parts 1-16.

Table 2 presents the required spare parts and their total costs for each of the four repair cycles, structured according to the optimal repair intervals [1; 10]. Along with material expenses, the methodology accounts for hourly production losses (67,165 KZT per hour for CAT 16M and 16M3 graders) and labor costs of the service company (27,850 KZT per hour) [10].

By including both direct (spare parts) and indirect (downtime and labor) costs, the method ensures a comprehensive evaluation of economic efficiency [7; 9; 10]. The total repair cycle cost is expressed as:

$$E_{rc} = C_{sp} + (T_{rep} \cdot C_{lab}) + (T_{downtime} \cdot C_{downtime}), \quad (1)$$

where C_{sp} – total cost of spare parts (KZT);

T_{rep} – repair time (10 hours);

C_{lab} – labor cost per hour (27,850 KZT/hour);

$T_{downtime}$ – equipment downtime (12 hours);

$C_{downtime}$ – cost of one hour of downtime (67,165 KZT/hour).

Overall, the developed methodology makes it possible to specify the exact list of spare parts required for repair operations. Unlike a fixed, standard list applied to all cycles, each repair cycle is assigned its own set of parts according to its specific characteristics. This list includes not only standard components that are replaced regularly but also non-standard parts that are required only in the case of particular failures [1; 10].

Table 2 – Total spare parts costs for each cycle under the four-cycle repair methodology

Repair Cycle	Total Spare Parts Cost (KZT)
1st cycle	373453,85
2nd cycle	1063131,97
3rd cycle	1274424,16
4th cycle	1403700,12

Such an approach is aimed at ensuring the reliable operation of the unit after each repair cycle. The practical application of the methodology under real production conditions improves equipment reliability, reduces maintenance costs, and enables more accurate and efficient planning of repair operations [1; 5; 7; 10].

Results

To validate the methodology proposed earlier [1], optimal repair intervals for steering cylinders were recalculated using actual statistics. Two options were analyzed: 7,000 and 12,000 machine hours. According to Table 4 in [1], the cylinders accumulated 386,345 machine hours in total; with 13 units in service, the average per cylinder was about 29,718 hours.

This corresponds to roughly four repair cycles at the 7,000-hour interval and two cycles at the 12,000-hour interval. For each cycle, costs were calculated based on spare parts (values shown in Table 2), labor, and downtime. Labor was fixed at 27,850 KZT/hour and downtime at 67,165 KZT/hour.

Using these parameters, economic evalu-

ations were conducted for both intervals, including per-cycle and cumulative costs. The results are summarized in Table 3.

The actual financial costs of restoring the aggregates were calculated using the «Repair cost» data from Table 1 of the previous study [1]. Direct expenses for spare parts and repair works totaled about 31,727,360 KZT. This figure, however, excludes indirect losses from production downtime. In total, 32 repair events (scheduled and unscheduled) were recorded, each resulting in an average of 12 hours of idle time. With downtime valued at 67,165 KZT per hour, the additional losses amounted to 25,791,360 KZT. Consequently, the actual total financial loss reached 58,158,720 KZT.

By comparison, the projected cost for the 7,000-hour interval was 109,888,091 KZT, while for the 12,000-hour interval it was considerably lower at 46,875,995.7 KZT. Actual repair statistics from 2018-2025 showed total expenses of 58,518,720 KZT. These values, however, do not account for inflation or rising prices of spare parts and services over time, which likely explains why the actual amount appears lower than the projected scenarios.

The comparative outcomes of all three cases are illustrated in Figure 2 (Comparative Financial Costs Diagram), which provides a clear basis for assessing the financial efficiency of the proposed maintenance intervals and supports the choice of an optimal strategy.

At a 7,000-hour repair interval, the costs are highest due to the excessive frequency of scheduled maintenance and the cumulative expenses of spare parts and services. In con-

Table 3 – Costs Calculated under the New Methodology for Two Different Repair Intervals

Cycle	Spare parts cost C_{sp} (KZT)	Repair time T_{rep} (hours)	Downtime $T_{downtime}$ (hours)	Total cost E_{rc} (KZT)
7,000 machine-hour interval				
1st cycle	373,453.85	10	12	1,457,933.85
2nd cycle	1,063,131.97	10	12	2,147,911.97
3rd cycle	1,274,424.16	10	12	2,358,904.16
4th cycle	1,403,700.12	10	12	2,488,180.12
Total (per cylinder)				8,452,930.1
Total (13 cylinders)				109,888,091.3
12,000 machine-hour interval				
1st cycle	373,453.85	10	12	1,457,933.85
2nd cycle	1,063,131.97	10	12	2,147,911.97
Total (per cylinder)				3,605,845.8
Total (13 cylinders)				46,875,995.7

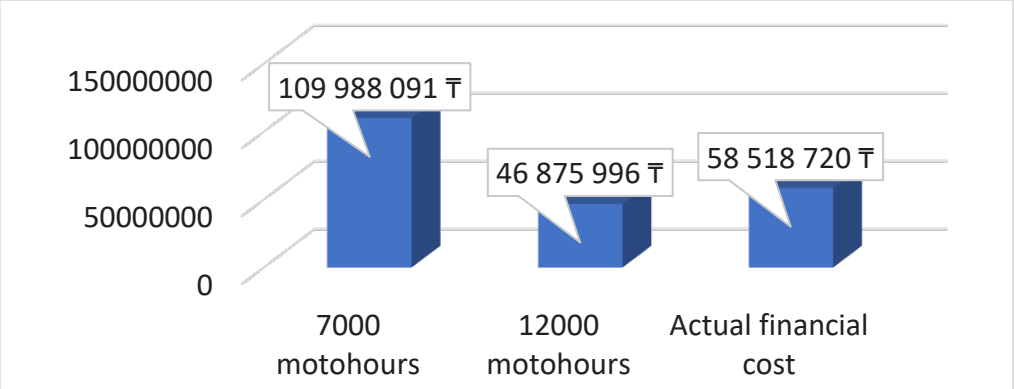


Figure 2 – Comparative Financial Costs Diagram

trast, the 12,000-hour interval results in the lowest financial costs, as repairs are both efficient and optimally spaced.

The gap between the actual cost (58.5 million KZT) and the projected cost for the 12,000-hour interval demonstrates the economic advantage of this strategy. This repair cycle not only maintains the required reliability of the equipment but also significantly reduces expenditures. Therefore, the 12,000-hour interval is the most effective option for optimizing maintenance strategies [1; 7; 9; 10].

Conclusion

In accordance with the research objective, the study successfully demonstrated the overall economic efficiency of the optimal operating intervals identified in the previous research. The analysis comprehensively examined the cost structure of scheduled and unscheduled repairs of steering cylinders, including the cost of spare parts, labor, and production losses resulting from equipment downtime.

Based on these data, a four-cycle repair methodology was developed, specifying the list of required spare parts, cost estimates, and time indicators for each cycle. Using this methodology, two different repair intervals – 7000 and 12000 machine hours – were compared in terms of economic efficiency. The calculations showed that the total cost amounted to 109.89 million KZT for the 7000-hour interval, whereas the 12000-hour interval required only 46.88 million KZT. According to actual production statistics for the period 2018-2025, the cost was 58.52 million KZT, which clearly confirmed the advantage of the 12000-hour scenario.

The results demonstrate that a 12000-hour repair interval maintains equipment reliability while avoiding excessive repairs, reducing costs, and improving production efficiency. Thus, the proposed methodology enables the optimization of maintenance strategies not only on a technical basis but also on an economic one, providing a solid scientific foundation for effective repair scheduling in mining enterprises.

REFERENCES

1. Kukesheva, A.B., Daribzhan, M.S. (2025). Development of a Method for Optimizing the Repair Interval of Mining Equipment Components. Journal of Technical Sciences and Innovative Technologies.
2. Al-Chalabi, H. (2022). Development of an economic replacement time model for mining equipment: a case study. Life Cycle Reliability and Safety Engineering, 11(2), 203-217. https://doi.org/10.1007/s41872-022-00188-1
3. Gutiérrez-Diez, J.C., Castañón, A.M., & Bascompta, M. (2024). New method to study the effectiveness of mining equipment: a case study of surface drilling rigs. Applied Sciences, 14(5), 2185. https://doi.org/10.3390/app14052185
4. Cao, X.G., Zhang, M.Y., Gong, Y.R., Jia, X.L., & Zhang, R.Y. (2021). Maintenance decision method considering inspection of mining equipment. International Journal of Metrology and Quality Engineering, 12, 21. https://doi.org/10.1051/ijmqe/2021018
5. Chin, H.H., Varbanov, P.S., Klemeš, J.J., Benjamin, M.F.D., & Tan, R.R. (2020). Asset maintenance optimisation approaches in the chemical and process industries – A review. Chemical Engineering Research and Design, 164, 162-194. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.09.034
6. Dayo-Olupona, O., Genc, B., Celik, T., & Bada, S. (2023). Adoptable approaches to predictive maintenance in mining industry: An overview. Resources Policy, 86, 104291. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104291
7. Dey, P.K., Ram, M. (2019). Optimization of Maintenance Scheduling Using Reliability-Centered Approach in Mining Equipment. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 25(4), 456-472. https://doi.org/10.1108/JQME-02-2019-0012
8. Kumar, U., Parida, A. (2020). Maintenance Performance Metrics: A State-of-the-Art Review. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 26(2), 179-199.
9. Zhang, W., Wang, X. (2021). Economic Optimization of Preventive Maintenance Intervals in Heavy Machinery. International Journal of Production Research, 59(12), 3742-3755. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1807184
10. Internal production reports and cost statements of KazMinerals Bozshakol on maintenance and repair statistics for 2018-2025 (obtained with permission).

KazMinerals Бозшакол өндірісінде карьерлік техниканың жөндеу интервалының тиімділігін бағалау әдістемесін әзірлеу

*[1]**КУКЕШЕВА Алия Бакибаевна,** PhD, аға оқытушы, aliya.kukesheva@bk.ru,*
*[1]***ДӘРІБЖАН Мирас Серікұлы,** докторант, miras9779@gmail.com,*
*[2]**САХАПОВ Рустем Лукманович,** т.ғ.д., профессор, rustem@sakhapov.ru,*
*[1]**КАДЫРОВ Адиль Суратович,** т.ғ.д., профессор, adil.suratovich@mail.ru,*
*[1]**КАРСАКОВА Акбопе Жолаевна,** PhD, доцент м.а., karsakova84@mail.ru,*
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Қазан (Еділ) федералды университеті, Кремлевская көшесі, 18, Қазан, Татарстан, Ресей,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Карьерлік техниканың агрегаттарына техникалық қызмет көрсету жиілігін тек техникалық емес, экономикалық тұрғыдан оңтайландыру мәселесі қарастырылады. Зерттеу нысаны ретінде KazMinerals Бозшакол кәсіпорнының CAT 16M және 16M3 модельді автогрейдерлеріндегі рульдік цилиндрлер алынды. Нақты өндірістік статистика негізінде агрегаттардың істен шығу жиілігі мен жөндеуге жұмсалатын шығындар талданып, жоспарлы және жоспардан тыс жөндеу шығындарының құрылымы салыстырылды. Жөндеу циклдерінің төрт сатылы әдістемесіне сәйкес қосалқы бөлшектердің нақты тізімі анықталып, әр циклге байланысты материалдық және уақыттық шығындар кешенді түрде бағаланды. Есептеулер нәтижесінде екі түрлі оңтайлы жөндеу интервалы – 7000 және 12000 мотосағат бойынша қаржылық салыстыру жүргізілді. Жиынтық шығындар мен өндірістік тоқтап қалу құны ескерілген әдістеме нәтижесінде 12000 мотосағаттық интервал анағұрлым үнемді болып шықты. Бұл тәсіл техникалық қызмет көрсету стратегияларын тек сенімділік тұрғысынан емес, экономикалық тиімділік арқылы да негіздеуге мүмкіндік береді.*

***Кілт сөздер:** жөндеу интервалы, экономикалық тиімділік, техникалық қызмет көрсету, карьерлік техника, шығын құрылымы, мотосағат, өндірістік тоқтап қалу.*

Разработка методики оценки эффективности интервалов ремонта карьерной техники на производстве KazMinerals Бозшакол

*[1]**КУКЕШЕВА Алия Бакибаевна,** PhD, старший преподаватель, aliya.kukesheva@bk.ru,*
*[1]***ДӘРІБЖАН Мирас Серікұлы,** докторант, miras9779@gmail.com,*
*[2]**САХАПОВ Рустем Лукманович,** д.т.н., профессор, rustem@sakhapov.ru,*
*[1]**КАДЫРОВ Адиль Суратович,** д.т.н., профессор, adil.suratovich@mail.ru,*
*[1]**КАРСАКОВА Акбопе Жолаевна,** PhD, и.о. доцента, karsakova84@mail.ru,*
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, 18, Казань, Татарстан, Россия,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Рассматривается проблема оптимизации частоты технического обслуживания агрегатов карьерной техники не только с технической, но и с экономической точки зрения. Объектом исследования выбраны рулевые цилиндры автогрейдеров моделей CAT 16M и 16M3 предприятия KazMinerals Бозшакол. На основе фактической производственной статистики проанализированы частота отказов агрегатов и затраты на ремонт, а также проведено сравнение структуры затрат при плановых и внеплановых ремонтах. В соответствии с четырехэтапной методикой ремонта был определен конкретный перечень запасных частей, а материальные и временные затраты для каждого цикла оценены комплексно. В результате расчетов проведено финансовое сравнение двух оптимальных интервалов ремонта – 7000 и 12000 моточасов. Методика, учитывающая совокупные затраты и стоимость производственных простоев, показала, что интервал 12000 моточасов является более экономичным. Такой подход позволяет обосновать стратегии технического обслуживания не только с точки зрения надежности, но и с позиции экономической эффективности.*

Ключевые слова: *интервал ремонта, экономическая эффективность, техническое обслуживание, карьерная техника, структура затрат, моточасы, производственный простой.*

REFERENCES

1. Kukesheva, A.B., Daribzhan, M.S. (2025). Development of a Method for Optimizing the Repair Interval of Mining Equipment Components. Journal of Technical Sciences and Innovative Technologies.
2. Al-Chalabi, H. (2022). Development of an economic replacement time model for mining equipment: a case study. Life Cycle Reliability and Safety Engineering, 11(2), 203-217. https://doi.org/10.1007/s41872-022-00188-1
3. Gutiérrez-Diez, J.C., Castañón, A.M., & Bascompta, M. (2024). New method to study the effectiveness of mining equipment: a case study of surface drilling rigs. Applied Sciences, 14(5), 2185. https://doi.org/10.3390/app14052185
4. Cao, X.G., Zhang, M.Y., Gong, Y.R., Jia, X.L., & Zhang, R.Y. (2021). Maintenance decision method considering inspection of mining equipment. International Journal of Metrology and Quality Engineering, 12, 21. https://doi.org/10.1051/ijmqe/2021018
5. Chin, H.H., Varbanov, P.S., Klemeš, J.J., Benjamin, M.F.D., & Tan, R.R. (2020). Asset maintenance optimisation approaches in the chemical and process industries – A review. Chemical Engineering Research and Design, 164, 162-194. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.09.034
6. Dayo-Olupona, O., Genc, B., Celik, T., & Bada, S. (2023). Adoptable approaches to predictive maintenance in mining industry: An overview. Resources Policy, 86, 104291. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104291
7. Dey, P.K., Ram, M. (2019). Optimization of Maintenance Scheduling Using Reliability-Centered Approach in Mining Equipment. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 25(4), 456-472. https://doi.org/10.1108/JQME-02-2019-0012
8. Kumar, U., Parida, A. (2020). Maintenance Performance Metrics: A State-of-the-Art Review. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 26(2), 179-199.
9. Zhang, W., Wang, X. (2021). Economic Optimization of Preventive Maintenance Intervals in Heavy Machinery. International Journal of Production Research, 59(12), 3742-3755. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1807184
10. Internal production reports and cost statements of KazMinerals Bozshakol on maintenance and repair statistics for 2018-2025 (obtained with permission).

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_214 UDC 624.132.2:621.879:532

Analysis of the Results of Studies of Soil Destruction by Working Bodies of Earthmoving Machines in a Liquid Medium

SAKHAPOV Rustem, *Dr. of Tech. Sc., Head of. Department, rusakhapov@gmail.com, Kazan State University of Architecture and Engineering, Zelenaya Street, 1, Kazan, Tatarstan, Russia.*

Abstract. *This paper analyzes and summarizes domestic theoretical and experimental studies on soil destruction by earthmoving machinery in liquid media. The influence of hydrostatic pressure, hydrodynamic resistance, and fluid filtration on the physical and mechanical properties of soil, the nature of chip formation, and the magnitude of cutting forces is considered. Models of underwater cutting and milling of soils, as well as the results of work on jet hydromechanical soil destruction, are analyzed. It is shown that with increasing mining depth, cutting resistance increases and the optimal geometric parameters of the working parts change. It is established that most existing calculation dependencies have a limited scope of application and contain empirical coefficients that require experimental clarification. Conclusions are drawn regarding the need for further development of soil destruction models in liquid media, taking into account working depth, cutting speed, and the influence of clay solutions in the design of earthmoving equipment.*

Keywords: *soil destruction, underwater cutting, earthmoving machines, liquid medium, hydrostatic pressure, hydrodynamic resistance, soil milling, jet destruction, cutting forces, hydromechanization.*

Introduction. Soil destruction by earthmoving machinery is a key process determining the effectiveness of excavation and hydromechanized operations. In liquid environments (water-saturated soils, underwater workings, operations in flooded areas), the nature of interaction between the working element and the soil changes significantly compared to dry conditions. The presence of liquid affects the strength and deformation properties of the soil, cutting resistance, as well as energy consumption and wear of the working elements of the machines. Modern requirements for increasing the productivity of earthmoving machinery, reducing operating costs, and ensuring the sustainability of technological processes necessitate an in-depth analysis of soil destruction mechanisms in liquid environments. Despite a number of theoretical and experimental studies, many issues related to the influence of hydrodynamic factors on soil destruction remain insufficiently understood and require additional scientific substantiation. Therefore, the task of analyzing and summarizing the results of studies on soil destruction by earthmoving machinery in liquid environments is relevant. This analysis allows us to identify patterns of interaction between the working element, soil, and liquid, to refine existing models of destruction, and to determine areas for improving the design of working elements and their operating modes.

Materials and methods. The following authors studied underwater soil destruction: Balovnev V.I. [1], Kuznetsov A.I. [2], Kadyrov A.S. [3], Marchenkov V.P. [4], Nedorezov I.A. [5], Nikolaev A.D. [6], Fomenko V.F. [7], Yufin A.P. [8], Tsarevsky A.M. [9], Shatalov A.A. [10], Ogorodnikov S.P. [11].

S.P. Ogorodnikov determined the force of underwater soil milling, considering that its value is the sum of the cutting force and the force P_{gd}, taking into account the hydrodynamic resistance of the aquatic environment. In the work of S.P. Ogorodnikov, according to the conditions of O. Mohr's strength theory, the components of the cutting force by a single cutter were determined:

$$\begin{cases} P = K_4 bh \dfrac{\cos\varphi \sin(\delta+\mu)}{\cos^2\left(\dfrac{\delta_k+\mu+\rho}{2}\right)} + K_5 ba \dfrac{\sin(\delta_1+\mu)}{\cos\mu}; \\ H = K_4 bh \dfrac{\cos\varphi \cos(\delta+\mu)}{\cos^2\left[(\delta_k+\mu+p)/2\right]} + K_5 ba \dfrac{\cos(\delta_1+\mu)}{\cos\mu} \end{cases} \quad (1)$$

where P is the cutting force component tangent to the path of movement; K_4 is the specific shear resistance of the soil; b is the cutter width; h is the thickness of the cut chip; ρ is the angle of internal friction of the soil; δ is the cutting angle; μ is the angle of external friction of the soil; K_5 is the specific resistance of the soil to compression; a is the size of the wear area; δ_k is the kinematic cutting angle; δ_1 is the angle of inclination of the wear area to the path of movement; H is the normal component of the cutting force. S.P. Ogorodnikov divides the resistance of the aquatic environment into inertial P_u and hydrodynamic P_g. Inertial resistance is determined by the relationship:

$$P_u = (\rho_g + \alpha\rho_s)\frac{V_0}{R}\cdot\frac{\sin\delta(\delta+\mu)}{\cos\mu}V_0, \quad (2)$$

where ρ_s is the density of water or pulp, respectively; α is a correction factor that takes into account the shape of the discarded soil pieces and is equal to 0,5 to 1,0. V_0 is the volume of discarded soil; R is the radius of the cutter; V_0 is the linear speed of rotation of the cutter. Hydrodynamic resistance is calculated using the formula:

$$P_{gd} = 0,5C_d\rho_C F_m V_0^2, \quad (3)$$

where C_d is the coefficient of hydrodynamic resistance; F_m is the midsection. The value of S.P. Ogorodnikov's research results lies in the fact that they fully present the physical picture of soil destruction and achieve sufficient convergence between the results of theoretical and experimental studies. A.M. Tsarevsky studied the process of soil excavation by dredger cutters. He established the dependencies of the milling cutting force in loose and dense soils [9].

V.N. Fomenko determined the relationship between the drive power of a dredger rotary ripper and the cutting force in an aquatic environment [7].

V.P. Marchenko proposed an empirical relationship for determining the effect of cutting speed on fracture resistance $m_V = 0,29 + 0,71^V$, where m_V is a correction factor for underwater cutting conditions [4].

He also identified the relationship between the dynamic C and static K_{st} indicators of densitometers: $C = K_{st}\mu$.

Moreover, the value of μ is the same for "dry" and underwater cutting and will be from 0,141 to 0,143.

The studies of V.P. Marchenko are distinguished by their breadth and will allow for an almost complete analysis of the loading of the working bodies of dredgers.

A.D. Nikolaev proposed to consider three conditions for underwater soil cutting [6]:

1. Water completely penetrates under the wedge and chips;

2. Water penetrates half the wedge, but does not pass under the soil layer;

3. Water penetrates neither under the soil layer, nor under the wedge.

In the second and third cases, a vacuum zone may form under the soil chips. The assumption about the presence of a vacuum behind the wedge during its rapid movement in water was put forward by A.I. Kuznetsov.

In the work [3], the horizontal component of the wedge cutting force in underwater conditions was determined. The need to introduce empirical coefficients into the proposed dependence significantly limits its application. I.A. Nedorezov and other authors determined the dependence of underwater cutting resistance forces, taking into account the effects of hydrostatic pressure and the hydrodynamic resistance of the medium. They determined the critical ground pressure values at which the cutting pattern changes compared to "dry" fracture.

$$P_{cr} \geq \frac{2}{3}\sin^2\alpha\sigma_{izg}(\sin\alpha + \cos\alpha tg\rho), \quad (4)$$

where α is the cutting angle; σ_{izg} is the soil bending stress. Based on the research performed by I.A. Nedorezov, the following conclusions were made:

1. With increasing hydrostatic pressure, instead of element-step chips, a continuous chip is formed, while the chip thickness increases by 60%;

2. With a water pressure of 1 MPa on the face, the cutting resistance increases significantly compared to the "dry" method of soil destruction, which is explained by an increase in the tangential and normal components of the soil cutting resistance force due to additional hydrostatic loading in the destruction zone;

3. With increasing hydrostatic pressure, the optimal values of the cutting angle increase;

4. The coefficient of variation of the soil cutting force under water is less than with the "dry" method.

The work provides recommendations for the design of earthmoving machines for work under water, developed on the basis of the results of a study of the stamp indentation into the soil. The conducted research allows for specific calculations of the working bodies of earthmoving machines, including new designs. However, the research results do not fully account for changes in the physical and mechanical properties of soil under hydrostatic pressure. Under the direction of A.A. Shatalov, comprehensive (theoretical and experimental) studies of underwater soil failure were conducted. In his research, A.A. Shatalov sought

to account for changes in the physical and mechanical properties of soils under hydrostatic pressure. Considering the equilibrium condition of a shearing element, A.A. Shatalov determined the underwater soil shearing force to be [10]:

$$P = N(\sin\delta + \eta\cos\delta) - \eta\rho_c g b h (H + H_1), \quad (5)$$

where N is the calculated value defining the normal pressure along the plane of the knife, at which the soil is destroyed; η is the pressure transfer coefficient depending on the effect of hydrostatic pressure on water permeability (filtration) into the soil; H and H_1 are the face depth and the pressure corresponding to the atmospheric pressure. Taking into account the experimental results, A.A. Shatalov proposed a refined theoretical and experimental dependence for determining the soil cutting force. The dependence has the form of a binomial, one of which is exponential. The research results allowed us to draw the following conclusions:

1. An increase in water pressure on the face leads to an increase in the soil density and to a change in the nature of chip cutting, an increase in the optimal cutting angle;

2. With an increase in pressure by 1 MPa, the cutting force, depending on the cut geometry and soil parameters, increases by 3,5 to 12,5%.

The conducted studies make it possible to clearly imagine the physical picture of underwater soil cutting and to calculate earthmoving machines. When calculating the parameters of milling and boring tools operating at shallow depths, the research results obtained by S.P. Ogorodnikov are most valid. For calculating the soil-cutting forces during the design and operating mode of the tools, depending on the working depth and cutting speed, it is best to use the data obtained by I.A. Nedorezov. There is no doubt that the pressure transfer coefficient proposed by A.A. Shatalov must be taken into account when determining the cutting force.

At the same time, it is absolutely clear that when studying earthmoving equipment for diaphragm wall construction, it is necessary to consider the specific effects of clay slurry on the soil, the significant working depth, the nature of the working tool's movement, and the filtration rate of the slurry into the soil.

The work of a bit cutter during drilling of soils and rocks was studied by: Alimov A.D., Baron A.I., Vladislavlev V.S., Getopanov V.I., Dvornikov L.T., Vozdvizhensky Yu.I., Kadyrov A.S., Kutuzov V.Ya., Ostroushko I.A., Sukhanov A.P., Terekhin E.P., Kharchenko V.V. and others. A common shortcoming of the results of these studies in relation to the problem under consideration is that these formulas, as a rule, were identified for the option of drilling rocks. The specific forces proposed by A.S. Kadyrov are free from this shortcoming and are established for soils of categories I-IV (hereinafter, the soil classification of Professor Yu.V. Vetrov). Subsequently, the specific forces of resistance to feed and rotation of the bit were used in the studies of A.A. Korkin, E.P. Terekhin, R.R. Khaibullin. The operation of machines performing jet destruction of soil in the field of hydromechanization was studied by: Bogomolov A.K., Breidt I.I., Kadyrov A.S., Khaibullin R.R. In these studies, the geometric parameters of the jet at the exit from the nozzle, the force of the jet's impact on the obstacle, and losses in the hydraulic system were determined.

The jet parameters change with its distance from the nozzle. The reason for the resistance of the medium. The flow through which the jet moves, the presence of turbulent formations within it, and jet aeration. Three sections of the jet can be distinguished: in the first, the jet is cylindrical and continuous; in the second, the entire jet is saturated with air; in the third, the continuity of the flow is broken, and the jet is a combination of broken streams of droplets and air. The length of the first section of the jet depends on the velocity of the liquid flow and the diameter of the nozzle.

According to data from the A.A. Skachinsky Institute of Geology and Mining, the following pattern holds:

$$\frac{l_H}{d_0} = A - B\,\mathrm{Re}, \quad (6)$$

where l_H is the length of the initial section of the jet; d_0 is the nozzle diameter; A and B are empirical coefficients; Re is the Reynolds number for the initial section of the jet. The paper provides recommendations for calculating the parameters of a jet surrounded by an air shell: the length of the first section of the jet is 80 d_0, the second – from 80 to 300 d_0 from the nozzle, the third begins at a distance from the nozzle over 300 d_0. The average dynamic pressure of the jet at a distance L from the nozzle can be calculated from the average pressure in it at the outlet of the nozzle $P_L = P\varphi_L$, where P is the jet pressure at the outlet of the nozzle. The parameter φ_L can be calculated using the formulas of G.N. Roer VNIIOMS:

$$\varphi_L = \left| \frac{m}{\frac{L}{d_0} + 30} \right| \text{ или } \varphi_L = \frac{320}{\left(\frac{L}{d_0}\right)^{3/2} \sqrt[4]{H + 320}}, \quad (7)$$

where m is a parameter dependent on the jet pressure. The distribution of the dynamic pressure P along the longitudinal axis of the jet is determined by the relationship:

$$P = nP_0\left(\frac{d_0}{l}\right)^{0,85}, \quad (8)$$

where n is the dimensionless dynamic pressure coefficient determined experimentally. K.I. Broydt, where m is a parameter dependent on the jet pressure. The distribution of the dynamic pressure P along the longitudinal axis of the jet is determined by the relationship: proposed a relationship for determining the maximum length of a cut in the soil formed by the erosion of a jet and liquid in an air flow. He also proposed a method for determining the Reynolds number of a liquid jet in an air flow. The difficulty in using these relationships is the large number of experimental parameters. It is very difficult to theoretically determine the critical distance from the nozzle, above which soil erosion no longer occurs. This requires knowing the maximum destructive pressure of a water or water-air jet on the soil. The magnitude of the destructive pressure depends on many factors, and therefore it is advisable to determine it experimentally. A.P. Yufin provides the following data [8]:

- for clay and loam development with hydraulic monitors, a jet pressure at the face of 2 to 7 kg/cm^2 and a water flow rate of 5 to 14 m^3/m^3 are required;

- for sand development – up to 2,5 kg/cm^2 and at least 19 m^3/m^3.

The values of water consumption per volume of washed away soil can be used as a first approximation for solving the given problem, and then refined experimentally. It is possible to use standard data on the erosion of various rocks with hydraulic monitors. The magnitude of the pressure for soil erosion, according to these data, ranges from 30 m (sand) to 100 m (semi-fat clay).

The combination of mechanical cutting of the soil with simultaneous washing (cutting, destruction by the jet), carried out during the operation of hydromechanical working bodies, reduces the overall resistance of the material (soil) to destruction. But at the same time the energy consumption for creating the necessary pressure and ensuring the required flow rate of liquid increases.

There are no studies in the field of creation and calculation of working bodies of this type yet. The analysis allowed to come to the following conclusions in relation to the study of earthmoving equipment operating in a liquid medium:

1. When analyzing the operation and design of working bodies operating in a "dry" environment, it is possible to use the existing results of the cutting theory, taking into account the change in the values of specific forces depending on the radius of curvature of the trajectory and the speed of movement of the working bodies, as well as the depth of the soil;

2. To assess the loading of the working bodies during soil destruction in a clay solution, it is necessary to establish the effect of solution filtration into the soil and hydrostatic pressure on the face on the cutting force;

3. It is necessary to take into account the effect of the operating conditions of milling and drilling machines on the cutting force;

4. It is necessary to develop and study a model of soil destruction by a hydromechanical method;

5. The dependencies obtained theoretically for the jet cutting process need to be experimentally confirmed.

Results and discussion. The conducted analysis demonstrates that soil destruction in a liquid medium differs fundamentally from conventional "dry" cutting. These differences are primarily обусловлены the combined effect of hydrostatic pressure, hydrodynamic resistance, and fluid filtration into the soil mass. As the depth increases, noticeable changes occur in the physical and mechanical properties of the soil, the character of chip formation, and the magnitude of cutting forces.

Previous studies by S.P. Ogorodnikov, I.A. Nedorezov, and A.A. Shatalov have shown that water pressure and cutting speed significantly affect the soil destruction process. Their approaches make it possible to account for these factors; however, the proposed models are generally valid only within a limited range of conditions and rely heavily on empirical coefficients. Investigations into jet-assisted soil destruction confirm the high efficiency of hydromechanical воздействия, while simultaneously indicating increased energy consumption and the necessity for further experimental determination of rational operating parameters.

Conclusion. Underwater soil destruction is characterized by higher cutting forces and a modified fracture mechanism compared to dry cutting conditions. Hydrostatic pressure and fluid filtration play a decisive role in altering soil strength characteristics and determining optimal cutting angles. For reliable design and calculation of working tools, it is essential to consider operating depth, cutting speed, and the coefficient of pressure transmission to the soil. Existing calculation methods require further refinement and experimental validation, particularly for work in clay solutions and at significant depths.

REFERENCES

1. Balovnev V.I., Glagolev S.N., Danilov R.G. et al. Machines for Earthworks: Design, Calculation, and Consumer Properties. Vol. 1: Excavators and Earth-Moving Machines: Textbook for Universities – Belgorod: BSTU Publishing, 2011. – 401 p.
2. Jumaev J.J. Solvability of a coefficient recovery problem for a time-fractional diffusion equation with periodic boundary and overdetermination conditions // Journal of Samara State Technical University. – 2025. – Vol. 29, No. 1.
3. Kadyrov A., Zhunusbekova Z., Ganyukov A., Kadyrova I., Kukesheva A. General characteristics for loading the working elements of drilling and milling machines when moving in the clay solution // Communications - Scientific Letters of the University of Žilina. – 2021. – 23 (2). – Pp. 97-105. DOI: 10.26552/COM.C.2021.2
4. Turgumbayev J.J., Turgunbayev M.S. Prediction of the cutting resistance force of the soil containing stony fractions // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2021. – Vol. 5.
5. Nedorozov I.A. Variations in the strength of soils developed in construction // Transport Construction. – 2013. – No. 8. – Pp. 29-30.
6. Yang F., Chen X., Zhang L. Study on Deepwater Conductor Jet Excavation Mechanism in Cohesive Soil // Applied Ocean Research. – 2018.
7. Turgumbayev Zh.Zh., Turgunbayev M.S. Prediction of the energy intensity of cutting soil containing stone inclusions // Technique and Technology of Transport. – 2021. – No. 3 (22). – P. 16.
8. Pavlov V.P. Algorithm for calculating the force and energy intensity of cutting soil along a trajectory of large curvature // Bulletin of the Voronezh State Technical University. – 2011. – Vol. 7, No. 1. – Pp. 185-188.
9. Boyarkina I.V. Specific energy intensity of the processes of digging soils and materials with a bucket of a technological machine // Omsk Scientific Bulletin. – 2017. – No. 2. – Pp. 5-7.
10. Tarasov V.N., Boyarkina I.V. Specific resistance to digging of soils and materials by bucket machines // Construction and Road Machines. – 2016. – No. 3. – Pp. 20-23.
11. Ogorodnikov S.P. Hydromechanized development of peat soils // Hydromechanization of Open-Pit Mining. – Moscow, 1966.

Сұйық ортада жер қазу машиналарының жұмыс органдарының топырақтың бұзылуын зерттеу нәтижелерін талдау

САХАПОВ Рустэм Лукманович, *т.ғ.д., кафедра меңгерушісі, rusakhapov@gmail.com, Қазан мемлекеттік сәулет және құрылыс университеті, Зеленая көшесі, 1, Қазан, Татарстан, Ресей.*

Аңдатпа. *Сұйық ортада жер қазу машиналарының жұмыс органдарымен топырақтың бұзылуы бойынша отандық теориялық және эксперименттік зерттеулер талданады және қорытындыланады. Гидростатикалық қысымның, гидродинамикалық кедергінің және сұйықтық сүзілуінің топырақтың физикалық және механикалық қасиеттеріне, жоңқаның пайда болу сипатына және кесу күштерінің шамасына әсері қарастырылады. Топырақты су асты кесу және фрезерлеу модельдері, сондай-ақ топырақты гидромеханикалық ағынды бұзу бойынша жұмыс нәтижелері талданады. Өңдеу тереңдігінің артуымен кесу кедергісі артатыны және жұмыс органдарының оңтайлы геометриялық параметрлері өзгеретіні көрсетілген. Көптеген қолданыстағы есептеу тәуелділіктерінің қолданылу аясы шектеулі және эксперименттік нақтылауды қажет ететін эмпирикалық коэффициенттері бар екені анықталды. Жұмыс тереңдігін, кесу жылдамдығын және жер қазу жабдықтарын жобалаудағы саз ерітінділерінің әсерін ескере отырып, сұйық ортада топырақтың бұзылуы модельдерін одан әрі дамыту қажеттілігі туралы қорытындылар жасалды.*

Кілт сөздер: *топырақтың бұзылуы, су асты кесу, жер қазу машиналары, сұйық орта, гидростатикалық қысым, гидродинамикалық кедергі, топырақты фрезерлеу, ағынды бұзу, кесу күштері, гидромеханизация.*

Анализ результатов исследований разрушения грунта рабочими органами землеройных машин в жидкой среде

САХАПОВ Рустэм Лукманович, *д.т.н., зав. кафедрой, rusakhapov@gmail.com, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ул. Зеленая, 1, Казань, Татарстан, Россия.*

Аннотация. *Выполнен анализ и обобщение отечественных теоретических и экспериментальных исследований, посвящённых процессам разрушения грунта рабочими органами землеройных машин в жидкой среде. Рассмотрено влияние гидростатического давления, гидродинамического сопротивления и фильтрации жидкости на физико-механические свойства грунта, характер стружкообразования и величину сил резания. Проанализированы модели подводного резания и фрезерования грунтов, а также результаты работ по струйному гидромеханическому разрушению грунта. Показано, что с увеличением глубины разработки возрастает сопротивление резанию и изменяются оптимальные геометрические параметры рабочих органов. Установлено, что большинство существующих расчетных зависимостей имеют ограниченную область применения и содержат эмпирические коэффициенты, требующие экспериментального уточнения. Сделаны выводы о необходимости дальнейшего развития моделей разрушения грунта в жидкой среде с учётом глубины забоя, скорости резания и влияния глинистых растворов при проектировании землеройного оборудования.*

Ключевые слова: *разрушение грунта, подводное резание, землеройные машины, жидкая среда, гидростатическое давление, гидродинамическое сопротивление, фрезерование грунта, струйное разрушение, силы резания, гидромеханизация.*

REFERENCES

1. Balovnev V.I., Glagolev S.N., Danilov R.G. et al. Machines for Earthworks: Design, Calculation, and Consumer Properties. Vol. 1: Excavators and Earth-Moving Machines: Textbook for Universities – Belgorod: BSTU Publishing, 2011. – 401 p.
2. Jumaev J.J. Solvability of a coefficient recovery problem for a time-fractional diffusion equation with periodic boundary and overdetermination conditions // Journal of Samara State Technical University. – 2025. – Vol. 29, No. 1.
3. Kadyrov A., Zhunusbekova Z., Ganyukov A., Kadyrova I., Kukesheva A. General characteristics for loading the working elements of drilling and milling machines when moving in the clay solution // Communications - Scientific Letters of the University of Žilina. – 2021. – 23 (2). – Pp. 97-105. DOI: 10.26552/COM.C.2021.2
4. Turgumbayev J.J., Turgunbayev M.S. Prediction of the cutting resistance force of the soil containing stony fractions // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2021. – Vol. 5.
5. Nedorozov I.A. Variations in the strength of soils developed in construction // Transport Construction. – 2013. – No. 8. – Pp. 29-30.
6. Yang F., Chen X., Zhang L. Study on Deepwater Conductor Jet Excavation Mechanism in Cohesive Soil // Applied Ocean Research. – 2018.
7. Turgumbayev Zh.Zh., Turgunbayev M.S. Prediction of the energy intensity of cutting soil containing stone inclusions // Technique and Technology of Transport. – 2021. – No. 3 (22). – P. 16.
8. Pavlov V.P. Algorithm for calculating the force and energy intensity of cutting soil along a trajectory of large curvature // Bulletin of the Voronezh State Technical University. – 2011. – Vol. 7, No. 1. – Pp. 185-188.
9. Boyarkina I.V. Specific energy intensity of the processes of digging soils and materials with a bucket of a technological machine // Omsk Scientific Bulletin. – 2017. – No. 2. – Pp. 5-7.
10. Tarasov V.N., Boyarkina I.V. Specific resistance to digging of soils and materials by bucket machines // Construction and Road Machines. – 2016. – No. 3. – Pp. 20-23.
11. Ogorodnikov S.P. Hydromechanized development of peat soils // Hydromechanization of Open-Pit Mining. – Moscow, 1966.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_220 ӘОЖ 378.14

Білім беру кеңістігінде болашақ оқытушылардың өзін-өзі ұйымдастыру процесін жүзеге асыру тәсілдерін талдау

[1]***БАЙЖУМАНОВА Назира Сабыровна,*** *магистр, аға оқытушы, _nazira82_@mail.ru,*
[2]***РАИМКУЛОВА Ажарбубу Супуровна,*** *п.ғ.д., профессор, rajmkulowa@yandex.com,*
[1]***СМИРНОВА Галина Михайловна,*** *п.ғ.к., доцент, smirnova_gm@mail.ru,*
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Жүсіп Баласағұн атындағы Қырғыз ұлттық университеті, Фрунзе көшесі, 547, Бішкек, Қырғызстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Адам қызметінің әртүрлі салаларындағы өзін-өзі ұйымдастыру процесінің мәні мен ерекшеліктері қарастырылады. Осыған байланысты бірнеше авторлардың ғылыми еңбектері талданды, сонымен қатар «өзін-өзі ұйымдастыру» ұғымы сипатталды. Өзін-өзі ұйымдастыру процесінің мәнін ашуға және оны жүзеге асыруға қатысты теориялық көзқарастарға салыстырмалы талдау жүргізілді. Психологиялық-педагогикалық әдебиеттерді талдау нәтижесінде өзін-өзі ұйымдастырудың жеке, белсенді, интегралды, техникалық, құзыреттілік тәсілдерінің мазмұны сипатталды. Әр тәсіл бойынша қызметті өзін-өзі ұйымдастырудың маңыздылығы мен тиімділігі анықталды. Аталған тәсілдердің ішінен оқу процесінде білім алушылардың өзін-өзі ұйымдастыру процесін іске асыруда құзыреттілік тәсілге ерекше назар аударылды.*

Кілт сөздер: *өзін-өзі ұйымдастыру, білім алушылар, болашақ педагог, тұлға, қабілет, дағдылар, процесс, жеке даму, құзырет, кәсіби құзыреттілік.*

Кіріспе

Бүгінгі таңда кәсіби білім берудің мазмұнын құзыреттілік тұрғысынан жаңарту мәселесі аса маңызды, әрі өзекті болып отыр.

Болашақ педагогтың білім беру саласындағы өзін-өзі ұйымдастыра алу қызметін қалыптастыру мәселесі алдағы уақытта үнемі жетілдіріліп, жоғары кәсіби деңгейге ұмтылатын ізденіске ұласуы тиіс. Қазіргі жағдайда болашақ педагогтың бәсекеге қабілеттілігінің ресурсы тек арнайы білім, білік, дағдыларды меңгерумен ғана шектелмей, сонымен қатар білім алушының тұлғалық дамуын қамтамасыз ететін білім беру құндылықтарын жасай және жеткізе алуға бағытталған кәсіби құзыреттерді қалыптастыруды қамтиды.

Өзін-өзі ұйымдастыру мәселелері көптеген ғалымдарды қызықтырып, В.М. Бехтерев, Л.С. Выготский, Л.И. Божович еңбектерінде көрініс тапты. Алайда, өзін-өзі ұйымдастыру идеяларының бастауы ерте кезеңдерден-ақ қаланған. Оны XX ғасырдың басында гештальтпсихология, физиология және психология өкілдері зерттеген. Бұл бағыттағы зерттеулер А.А. Ухтомскийдің доминанта теориясында, сондай-ақ бірқатар жалпытеориялық және әдіснамалық қағидаларда көрініс тапқан [1]. Өзін-өзі ұйымдастыру үдерісі зерттеушілердің қызығушылығын тек теориялық тұрғыдан ғана емес, сонымен қатар оның практикалық маңызын айқындайтын мәселені де белгіледі.

Зерттеу әдістері

Зерттеу жұмысында талдау әдісі жалпы мәселені бірнеше санатқа, атап айтқанда кәсіби құзыреттілік пен өзін-өзі ұйымдастыруға бөлу үшін қолданылды. Соның нәтижесінде болашақ педагогтарды тәрбиелеу контексінде олардың мәні мен негізгі қасиеттерін анықтауға мүмкіндік туды. Ал синтез әдісі, керісінше, бөлінген элементтерді біртұтас жүйе ретінде қарастыру және зерттеу нысанын айқындау мақсатында біріктірді. Бұл әдіс өзін-өзі ұйымдастыру санатына сәйкес келетін негізгі сапалар мен қағидаттарды сипаттау үшін пайдаланылды.

Дедукция әдісі жұмыстың логикалық құрылымын қалыптастырудың негізіне алынды. Бұл зерттеудің бастапқы кезеңінде жалпытеориялық аспектілердің, атап айтқанда өзін-өзі ұйымдастыру мен кәсіби құзыреттілік ұғымдарының тікелей мәні қарастырылғанынан көрінеді. Сонымен қатар олардың өзара байланысын белгілі бір деңгейде айқындауға мүмкіндік берген ерекшеліктері анықталды.

Ғылыми нәтижелер

«Өзін-өзі ұйымдастыру» ұғымын анықтауда бірнеше теориялық тәсілдер бар: тұлғалық, әрекеттік, интегралды (тұлғалық-әрекеттік), техникалық, әлеуметтік-бағдарланған, синергетикалық, құзыреттілік тәсілдер.

Тұлғалық тәсіл тұрғысынан қарастырғанда, өзін-өзі ұйымдастыру тұлғалық білімдерді меңгеру ретінде түсіндіріледі. Бұл бағытта Т.А. Губайдулина, М.И. Дьяченко, Т.А. Егорова, Л.А. Кандыбович және т.б. ғалымдардың еңбектерін атап өтуге болады. Олар психологиялық сапа ретінде ұйымдасқандықты бөліп көрсетіп, оны тұлғаның даралығы немесе жеке қасиеттерінің кешені ретінде қарастырады. Тұлғаның өзін-өзі ұйымдастыруы психикалық дамудың жалпы деңгейімен (зияткерлік, еріктік, эмоцияналдық, моральдық) сипатталады және тұлғалық алғышарттарды зерттеуге бағдарланады [2].

Өзін-өзі ұйымдастыруды әрекеттік тәсіл тұрғысынан қарастырғанда, ол белгілі бір кезеңдерден (операциялардан, функциялардан, іскерліктер мен дағдылардан) тұратын үдеріс ретінде сипатталады. Бұл бағыттағы ғалымдар В.Н. Донцов, С.Б. Елканов, В.К. Ельманов, Н.В. Кузьмина, Н.И. Мурачковский, А.Г. Сорокова, Я.О. Устинов және т.б. өзін-өзі ұйымдастыру үдерісінің құрылымын, осы құрылымдағы функциялар арасындағы байланыстарды және олардың іс-әрекетті ұйымдастырудың табыстылығына ықпалын зерттейді.

Ю.А. Цагарелли өзін-өзі ұйымдастыруды тұлғалық-әрекеттік тәсіл тұрғысынан қарастырып, оған мынадай анықтама береді: «тұлғаның өзін-өзі ұйымдастыруы – бұл белгілі бір идеялар мен өзін-өзі бағалау нәтижелеріне сүйене отырып, тұлғаны саналы, әрі мақсатты түрде қалыптастыру үдерісі». Тұлғаның өзін-өзі ұйымдастыру үдерісі тұлғалық дамудың мақсатқа деген қажеттіліктерін қанағаттандырса, ал іс-әрекетті өзін-өзі ұйымдастыру үдерісі сол мақсатқа жету жолдарын айқындауды қамтамасыз етеді [3].

Өзін-өзі ұйымдастыруға ғылыми мәселе ретінде интегралды тәсіл тұрғысынан қызығушылықтың көрінісі С.С. Амирова, В.Б. Арюткин, Г. Домбровецкая, Н.А. Заенутдинова, П.М. Керженцева, Л.Т. Охитина, Н.П. Попова, О.Н. Птицын, И.А. Трофимова және т.б. ғалымдардың еңбектерінде байқалады. Олар өзін-өзі ұйымдастыру үдерісінің ерекшеліктерін және оны психологиялық сапа ретінде айқындайтын жеке-дара сипаттамаларды ескереді.

Практикалық психологияда өзін-өзі ұйымдастырудың техникалық тәсілі табысты дамып келеді, мұнда тұлғаның жеке іс-әрекетін ұйымдастырудың тиімділігін арттыратын әдіс-тәсілдер зерттеліп, қалыптастырылады. Техникалық тәсіл тұрғысынан өзін-өзі ұйымдастыру мәселесін Г.А. Архангельский, П. Берд, Н.М. Варшавский, А.К. Гастев, Н.П. Ерастов, Б.Г. Иоганзен, С.Ю. Ключников, Г.Х. Попов және т.б. қарастырған. Бұл тәсілде ақыл-ой еңбегін ғылыми ұйымдастыру, өзін-өзі басқару және тайм-менеджмент әдістеріне ерекше назар аударылады.

Әлеуметтік-бағдарланған тәсіл тұрғысы-

нан алғанда, өзін-өзі ұйымдастыру қоғамдағы өзара байланысты үдерістерді түсінуде маңызды рөл атқарады. В.И. Корниенко өзін-өзі ұйымдастырудың үш түрін бөліп көрсетеді:

1) жансыз табиғатқа тән өзін-өзі ұйымдастырудың әмбебап қағидалары мен даму логикасы;

2) тірі материяның табиғи-биологиялық өзін-өзі ұйымдасуы, жаңа заңдылықтардың пайда болуымен сипатталады;

3) алғашқы екі үдерістің эволюциялық тоғысуының нәтижесі ретінде қалыптасатын әлеуметтік өзін-өзі ұйымдастыру, ол әлеуметтік жүйелердің күрделене түсуімен ерекшеленеді.

Әлеуметтік өзін-өзі ұйымдастыру – бұл жеке мақсаттарға бағдарланған, бірақ сыртқы мәжбүрлеусіз қоғамдық нормаларды ерікті түрде сақтауы нәтижесінде қалыптасатын субъектілердің келісілген мінез-құлқын білдіреді. Әлеуметтік өзін-өзі ұйымдастырудың негізгі міндеттерінің бірі – үнемі өзгеріп отыратын және белгісіз әлемде өмір сүру [4].

Әлеуметтік өзін-өзі ұйымдастыру мәселесі қоғамды талдаудағы синергетикалық тәсіл аясында отандық та, шетелдік әдебиеттерде де енді ғана зерттеле бастады.

Синергетика XX ғасырда ашық, сызықтық емес жүйелердің өзін-өзі ұйымдастыруы туралы теория ретінде қалыптасты. «Синергетика» термині американдық дизайнер, сәулетші және өнертапқыш Ричард Фуллердің еңбектерінде кездескенімен, оны алғаш рет күрделі жүйелердегі ішкі жүйелер арасындағы өзара байланысты зерттеу мақсатында Герман Хакен алғаш рет қолданған еді [5].

Хтун Хтун Наинг өз зерттеулерінде өзін-өзі ұйымдастыруды синергетика аясында ашық тепе-теңдік емес жүйелердегі теріс ауытқулар мен оң байланыстардың өзара әрекеттесуінің нәтижесі ретінде қарастырылады. Бұл процесс жүйеге оң немесе теріс әсер етуі мүмкін, нәтижесінде жаңа бағыттың пайда болуына әкеледі [6].

Өзін-өзі ұйымдастырудың келесі бір тәсілі – құзыреттілік тәсіл болып табылады. Бұл тұрғыда білім беру парадигмасын біртіндеп қайта бағдарлау, білім алушылардың қабілеттерін қалыптастыру, оларды заманауи көпфакторлы кеңістікте өмір сүру және тұрақты болу үшін қажетті дағдылар мен кешенді құзыреттерді меңгеруге жағдай жасау көзделеді. В.И. Байденко, А.Г. Бермус, В.А. Болотов, Ю.В. Варданян, Э.Ф. Зеер, В.А. Козырев, Н.В. Кузьмина, А.К. Маркова, А.М. Митина, Н.Ф. Радионова, В.В. Сериков, В.А. Сластенин, А.В. Хуторский және басқа да ғалымдар құзыреттілік тәсіл теориясының негіздерін қалап, оның мәнін, мазмұнын, құрылымын және кәсіби құзыреттіліктің қалыптасу шарттарын анықтаған [7].

«Білім алушылардың өзін-өзі ұйымдастырудағы кәсіби құзыреттілігі» ұғымы өз қызметін ұтымды ұйымдастыру, оны жүзеге асыру, оқытудың тиімділігін арттыру, алған тәжірибесі мен білім, білік, дағдылар жиынтығын саналы түрде қолдану негізінде оны ұйымдастыру процесін жетілдіру қабілеті тұрғысынан сипатталады.

Екі категорияның өзара байланысы әрқайсысының мазмұнын зерттеуді талап етеді. «Өзін-өзі ұйымдастыру» ұғымында жалпы оның мазмұны тұлғаның өз кәсіби өкілеттіліктерін жүзеге асыру қабілетінде жатыр, нәтижесінде ол максималды көрсеткіштерге қол жеткізіп, өз әлеуетін ашады. Ал кәсіби құзыреттілік – бұл маманның өз қызметін жүзеге асыру барысында қолданатын теориялық және практикалық білімдер мен дағдылардың жиынтығы, сондай-ақ кәсіби міндеттерін орындауға қажетті білімдер мен қабілеттер. Сондықтан, бұл процесс маманның қызметін жасау, қайта өндіру немесе жетілдіру арқылы қамтамасыз етіледі, ол күрделі динамикалық механизм болып табылады [8].

Болашақ педагогтардың өзін-өзі ұйымдастыру процесі – бұл табысты педагогикалық қызмет үшін қажетті жеке, сондай-ақ кәсіби маңызды қасиеттерді қалыптастыру және дамыту бойынша субъектінің мақсатты және саналы қызметі. Оның мәні – өзін-өзі реттеу, өз әрекеттерін жоспарлау, жеке іс-әрекетін сыни тұрғыдан ойлауы және үздіксіз кәсіби өзін-өзі жетілдіру қабілетінде жатыр.

Бұл процестің негізгі ерекшеліктеріне мыналар жатады:

- жеке ерекшелік (өзін-өзі ұйымдастыру процесі білім алушының жеке мақсаттары, мотивтері, құндылықтары мен қажеттіліктері негізінде құрылады;

- белсенділік және рефлексия (жоғары деңгейдегі өзін-өзі тану, өз әрекеттерін талдау және түзету қабілетін талап етеді);

- кезеңділік және динамикалық (өзін-өзі ұйымдастырудың дамуы кезең-кезеңмен, тәжірибе жинақтау арқылы және білім беру ортасының әсерінен жүреді);

- интегративтілік (өзін-өзі ұйымдастыру танымдық, эмоционалды-ерік күшін және мінез-құлық компоненттерін қамтиды);

- кәсіби мотивациямен өзара байланыс (өзін-өзі ұйымдастырудың табыстылығы педагогикалық қызметке ішкі дайындық және кәсіби өсуге деген ұмтылыспен байланысты).

Осылайша, болашақ педагогтың өзін-өзі ұйымдастыруы оның кәсіби қалыптасуының ажырамас компоненті болып табылады және бұл тікелей негізгі құзыреттердің қалыптасу деңгейіне және педагогикалық қызметке өзін-өзі даярлау қабілетіне әсер етеді.

Психологиялық-педагогикалық әдебиет-

терді талдау зерттелетін мәселе бойынша мынадай қорытынды жасауға мүмкіндік береді: біріншіден, өзін-өзі ұйымдастыру білім беру ортасының маңызды құрамдас бөлігі болып табылады; екіншіден, өзін-өзі ұйымдастыру бойынша қалыптасқан құзыреттер білім алушылардың білім беру қызметінің тиімділігіне айтарлықтай әсер етеді; үшіншіден, зерттелетін құзыреттілікті білім алушылардың жоғары және (немесе) жоғары оқу орнынан кейінгі білім беру ұйымдарында алғашқы оқу жылынан бастап қалыптастырылуы қажет.

Өзін-өзі ұйымдастырудың қалыптасу деңгейін анықтау үшін «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ «Өнеркәсіп экономикасы», «Ақпараттық жүйелер», «Жылу энергетикасы», «Электр энергетикасы», «Тау-кен ісі», «Металлургия», «Құрылыс», «Геодезия», «Машина жасау» және т.б. 20 білім беру бағдарламасы бойынша оқитын 120 адамнан тұратын ғылыми-педагогикалық бағытындағы магистранттар респондент ретінде таңдалды.

Осы құзыреттіліктің қалыптасу деңгейін анықтау мақсатында келесі критерийлер бойынша талдау жүргізілді:

- мотивациялық-құндылық (кәсіби мақсаттар туралы хабардар болу, өзін-өзі дамытуға ұмтылу);
- танымдық (өзін-өзі ұйымдастыру, рефлексия және жоспарлау саласындағы білім);
- іс-әрекеттік (уақытты басқару, мақсат қою, жобалау және өзін-өзі бағалау дағдылары);
- рефлексивті бағалау (өз әрекетін сыни тұрғыдан түсіну және түзету мүмкіндігі).

Зерттеу ғылыми-педагогикалық бағытындағы 1 курс магистранттары арасында жүргізілді. Зерттеу әдістері арасында анкета жүргізу, диагностикалық сұрақнамалар, өзін-өзі бағалау шкалалары және оқу мен зерттеу іс-шаралары барысында бақылау қолданылды. Зерттеу нәтижелері төмендегі кестеде келтірілген.

Талдау көрсеткендей, мотивациялық-құндылық (68%) және когнитивтік (72%) компоненттер ең қалыптасқан, бұл өзін-өзі ұйымдастырудың маңыздылығын және негізгі теориялық білімнің жоғары деңгейін көрсетеді.

Сол уақытта, іс-әрекеттік (49%) және рефлексивті-бағалау компоненттері (57%) жеткіліксіз дәрежеде байқалады, бұл өзін-өзі ұйымдастыру дағдыларын, мысалы, жоспарлау, өзін-өзі реттеу және объективті өзін-өзі бағалау сияқты практикалық дағдыларды қолдануда олқылықтардың бар екенін көрсетеді.

Сонымен, алынған мәліметтер магистранттарда өзін-өзі ұйымдастыру құзыреттерінің ішінара қалыптасуын растайды, бұл осы процеске әсер ететін факторларды терең талдау қажеттілігін анықтайды. Демек, болашақ оқытушылардың өзін-өзі ұйымдастыруына ықпал ететін және кедергі келтіретін жағдайларды анықтау ерекше маңызды. Бұл факторларды кешенді түсіну тек жеке компоненттердің (мотивациялық-құндылықтық, танымдық, іс-әрекеттік, рефлексивті-бағалау) даму деңгейін түсіндіруге ғана емес, сонымен қатар магистранттарды кәсіби дайындық аясында өзін-өзі ұйымдастырудың тұрақты дағдыларын қалыптастыруға бағытталған педагогикалық әсер ету бағыттарын анықтауға мүмкіндік береді (сурет).

Осылайша, болашақ оқытушылардың өзін-өзі ұйымдастыруы мотивацияны дамыту, өзін-өзі басқаруға үйрету, дербестік пен жауапкершілікті ынталандыратын қолайлы педагогикалық ортаны құруды қамтитын кешенді процесс болып табылады.

Қорытынды

Жүргізілген талдауға сүйеніп, магистранттарда өзін-өзі ұйымдастыру құзыреттерінің қалыптасуы жартылай, теңсіз сипатта екенін айтуға болады, ол қолайлы және кедергі келтіретін факторлар жиынымен байланысты.

1. Магистранттарда өзін-өзі ұйымдастыру бойынша құзыреттер жартылай қалыптасқан, мұнда мотивациялық және танымдық компоненттер басым, ал іс-әрекеттік және рефлексивті аспектілер жеткіліксіз дамыған.

2. Ең әлсіз жақтар – бұл тәуелсіз іс-әрекет жағдайында жоспарлау, өзін-өзі бағалау және мақсат қою сияқты практикалық дағдылар.

Өзін-өзі ұйымдастыру бойынша кәсіби құзыреттілік компоненттерінің магистранттарда қалыптасу деңгейі (%-бен)

Құзыреттілік компоненті	Жоғары деңгей (%)	Орта деңгей (%)	Төмен деңгей (%)
Мотивациялық-құндылық	68	22	10
Танымдық	72	18	10
Іс-әрекеттік	49	35	16
Рефлексивті бағалау	57	28	15

3. Білім беру ортасында жиі кездесетін формальды тәсілдер тәуелсіз жұмысқа, оның кәсіби өзін-өзі ұйымдастыруды қалыптастырудағы потенциалына теріс әсер етеді.

4. Әмбебап құзыреттерді дамытуға бағытталған бағдарламаларды енгізуде кешенді тәсілдің қажеттілігі туындайды, рефлексивті және жобалық әдістерді интеграциялау, сондай-ақ магистранттардың жеке білім беру траекторияларын құру процесінде белсенді қолдау көрсету маңызды.

Өзін-өзі ұйымдастыруды зерттеудің қолданыстағы теориялық тәсілдеріне қарамастан, бұл бағыт болашақ педагогтарды даярлау ерекшеліктерін ескеріп, оны әрі қарай тереңдетуді қажет етеді. Төменде оны білім беру ортасында жүзеге асыру бойынша негізгі ұсыныстар берілген:

1. Белсенді оқыту әдістерін интеграциялау – тренинг, проблемалық, жобалық-зерттеу түрлерін енгізу өзін-өзі рефлексиялау, жоспарлау, сын тұрғысынан ойлау және дербестік дағдыларын дамытуға ықпал етеді.

2. Жеке білім траекториясын құру – студенттердің оқу стилін, ынтасын, қарқынын, қажеттіліктерін ескеріп, жауапкершілік пен дербестікті дамытады.

3. Мотивациялық жағдайларды жасау – ғылыми жетекшілік, менторлық, конференцияларға және жобаларға қатысу сияқты әрекеттер студенттердің өзін-өзі дамытуға деген ішкі мотивациясын арттырады.

4. Кәсіби жағдайларды модельдеу – рөлдік және іскерлік ойындар, тәжірибе арқылы белгісіз жағдайда шешім қабылдау қабілетін дамытады.

5. Өзін-өзі реттеуді дамыту – уақытты басқару, стреске төзімділік және мақсат қою арқылы өзін-өзі ұйымдастыру дағдыларын нығайтуға ықпал етеді.

6. Кері байланыс және менторлық – оқытушылардың қолдауы мінез-құлықты түзетуге және жеке прогресті бақылауға көмекте-

седі.

7. Тәуелсіз қызметті ынталандыру – ғылыми-зерттеу жұмысына қатысу жауапкершілік пен зерттеу дағдыларын қалыптастыруға септігін тигізеді.

8. Цифрлық құралдарды пайдалану – Trello, Notion, Google Calendar сияқты ресурстар жоспарлау, цифрлық сауаттылық дағдыларын дамытады.

9. Теория мен тәжірибені үйлестіру – білімді нақты педагогикалық жағдайға көшіру, өзін-өзі ұйымдастыру дағдыларын дамыту үшін қажет.

Осы аталған зерттеу бағыттарын және практикалық ұсыныстарды жүзеге асыру болашақ педагогтарда өзін-өзі ұйымдастырудың негізгі дағдыларын қалыптастыру үшін қолайлы жағдайлар жасайды және олардың тиімді кәсіби қызметке дайындық деңгейін арттырады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Эбелинг В., Файстель Р. Самоорганизация в природе и обществе и стратегии построения будущего / Перевод с нем. // XVII Фроловские чтения «Мир человека: Неопределенность как вызов». – М., 2017. – С. 145-187.
2. Андреев В.И. Диалектика воспитания и самовоспитания творческой личности / В.И. Андреев. – Казань: Издательство КГУ, 2017. – 196 с.
3. Цагарелли Ю.А. Процессы самоорганизации, самоуправления и саморегуляции в музыкальной деятельности // Теоретические и прикладные исследования психической саморегуляции: тезисы докладов научной конференции. – Казань: КГУ, 2014. – С. 115-121.
4. Корниенко В.И. Механизм социальной самоорганизации в эволюции человеческого общества [Электрон. ресурс] – 2017. – URL: // https://www.winstein.org/publ/26-1-0-1104
5. Алиева М.К., Дашдемирова З.Н. Синергетический подход в образовательном процессе // Молодой ученый. – 2025. – № 18 (569). – С. 398-400.
6. Хтун Хтун Наинг. Формирование умений самоорганизации у студентов-химиков на основе синергетического подхода: Дисс. ... к.п.н. – Курск, 2015. – 169 с.
7. Андриенко А.С. Компетентностный подход: исторические этапы становления и особенности развития современного периода // Мир науки. Педагогика и психология. – 2023. – Том 11. № 6. – С. 1-13.
8. Низамова Ч.И. Развитие навыков самоорганизации студентов с применением технологии тайм-менеджмента. – Казань: Школа, 2021. – 250 с.

Анализ подходов к реализации процесса самоорганизации будущих педагогов в образовательном пространстве

[1]*БАЙЖУМАНОВА Назира Сабыровна, *магистр, старший преподаватель, _nazira82_@mail.ru,*
[2]РАИМКУЛОВА Ажарбубу Супуровна, *д.п.н., профессор, rajmkulowa@yandex.com,*
[1]СМИРНОВА Галина Михайловна, *к.п.н., доцент, smirnova_gm@mail.ru,*
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]Кыргызский национальный университет имени Жусупа Баласагына, ул. Фрунзе, 547, Бишкек, Кыргызстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Раскрыты сущность и особенности процесса самоорганизации в различных областях человеческой деятельности. В связи с этим проанализированы научные труды нескольких авторов, а также охарактеризовано понятие «самоорганизация». Проведен сравнительный анализ теоретических подходов к раскрытию сущности процесса самоорганизации и его реализации. В результате анализа психолого-педагогической литературы описывается содержание индивидуального, деятельностного, интегрального, технического, компетентностного подходов к самоорганизации. Определена значимость и*

эффективность самоорганизации деятельности каждого подхода. Из перечисленных подходов особое внимание было уделено компетентностному подходу к реализации процесса самоорганизации обучающихся в учебном процессе.

Ключевые слова: *самоорганизация, обучающиеся, будущий педагог, личность, способность, навыки, процесс, личностное развитие, профессиональная компетентность, компетенция.*

Analysis of Approaches to the Implementation of the Process of Self-organization of Future Teachers in the Educational Space

[1]***BAIZHUMANOVA Nazira,** Master's Degree, Senior Lecturer, _nazira82_@mail.ru,*
[2]***RAIMKULOVA Azharbubu,** Dr. of Ped. Sc., Professor, rajmkulowa@yandex.com,*
[1]***SMIRNOVA Galina,** Cand. of Ped. Sc., Associate Professor, smirnova_gm@mail.ru,*
[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Jusup Balasagyn Kyrgyz National University, Frunze Street, 547, Bishkek, Kyrgyzstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The article reveals the essence and features of the process of self-organization in various fields of human activity. In this regard, the scientific works of several authors are analyzed, and the concept of «self-organization» is characterized. A comparative analysis of theoretical approaches to the disclosure of the essence of the process of self-organization and its implementation is carried out. As a result of the analysis of psychological and pedagogical literature, the content of individual, activity-based, integral, technical, and competence-based approaches to self-organization is described. The importance and effectiveness of self-organization of the activities of each approach are determined. Of these approaches, special attention was paid to the competence-based approach to the implementation of the process of self-organization of students in the educational process.*

Keywords: *self-organization, students, future teacher, personality, ability, skills, process, personal development, professional competence, competence.*

REFERENCES

1. Ebeling V., Fajstel R. Samoorganizaciya v prirode i obshestve i strategii postroeniya budushego (Perevod s nem.) // XVII Frolovskie chteniya «Mir cheloveka: Neopredelennost kak vyzov». – Moscow, 2017. – Pp. 145-187.
2. Andreev V.I. Dialektika vospitaniya i samovospitaniya tvorcheskoj lichnosti / V.I. Andreev. – Kazan: Izdatelstvo KGU, 2017. – 196 p.
3. Cagarelli Yu.A. Processy samoorganizacii, samoupravleniya i samoregulyacii v muzykalnoj deyatelnosti // Teoreticheskie i prikladnye issledovaniya psihicheskoj samoregulyacii: tezisy dokladov nauchnoj konferencii. – Kazan, KGU, 2014. – Pp. 115-121.
4. Kornienko V.I. Mehanizm socialnoj samoorganizacii v evolyucii chelovecheskogo obshestva [Elektron. resurs] – 2017. – URL: // https://www.winstein.org/publ/26-1-0-1104
5. Alieva M.K., Dashdemirova Z.N. Sinergeticheskij podhod v obrazovatelnom processe // Molodoj uchenyj. – 2025. – № 18 (569). – Pp. 398-400.
6. Htun Htun Naing. Formirovanie umenij samoorganizacii u studentov-himikov na osnove sinergeticheskogo podhoda. Diss. na soiskanie uchenoj stepeni k.p.n. – Kursk, 2015. – 169 p.
7. Andrienko A.S. Kompetentnostnyj podhod: istoricheskie etapy stanovleniya i osobennosti razvitiya sovremennogo perioda // Mir nauki. Pedagogika i psihologiya. – 2023. – Tom 11, № 6. – Pp. 1-13.
8. Nizamova Ch.I. Razvitie navykov samoorganizacii studentov s primeneniem tehnologii tajm-menedzhmenta. – Kazan: Shkola, 2021. – 250 p.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_227 ӘОЖ 004.8=512.122

ЖОО-ларда қазақ тілін жасанды интеллект арқылы оқыту

***ЖАЛДЫБАЕВА Айнур Жакыпбаевна,** магистр, оқытушы, zholdybaeva-1997@mail.ru,
КЕНЖЕБЕКОВА Айгерім Ерболқызы, магистр, оқытушы, ajgerim.kenzhebekova@mail.ru,
«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *ЖОО-лардағы студенттерге қазақ тілін жасанды интеллект арқылы оқыту тиімділігі қарастырылған. Өзге-ұлт өкілдеріне жасанды интеллектінің пайдасы зерттелді және цифрлық қолданыс түрлеріне талдау жұмыстары жүргізілді. Зерттеу мақсаты – тілді оқытудағы жасанды интеллектінің тиімділігін анықтау. Білім алушыларға 4-тілдік дағды негізін жасанды интеллект арқылы жасалған онлайн платформалары мен қосымшалары, интернет ресурстары сарапталды. Тіл үйренушілерге гаджеттің көмегімен цифрлық сауаттылықты арттыруға әдістеме жүргізілді.*

Кілт сөздер: *қазақ тілі, жасанды интеллект, онлайн платформа, тіл үйрену, тілдік дағды, цифрлық сауаттылық.*

Кіріспе. Қазіргі жаһандану заманында ғылым күн сайын даму үстінде. Соның тағы бір жемісі – жасанды интеллект. Бұл қазіргі кезде адам санасының аналогы ретінде жасалатын сенімді бағдарлама желісі. Әрине, бұл сала біздің елімізде қазір өзекті мәселе болғанымен, дүниежүзінде 1956 жылдан бастап зерттелген. Оның негізін салған американдық бағдарламашы Джон Маккарти есімді ғалым АҚШ-тың Дартмут колледжінде өткен ғылыми конференцияда бұл терминді алғаш рет қолданған. Яғни, «жасанды интеллект» атауын берген ғалым [1, 85].

Нейрондық желі – адам миының көшірмесі деп қарайтын болсақ, жасанды интеллектіге ойлау шексіздігі тән қасиеттің бірі. Ғылымның осылайша қарқындап дамуы, мамандардың жұмысына мол септігін тигізді. Мәселен, ғылымда, білім саласындағы мемлекеттік коммуналдық мекемелерде, денсаулық сақтау орындарда, өндірістік салада қолданыс табуда.

Біз дамыған елдердің қатарына қосылу үшін ғылымға айрықша мән беруіміз керек. Яғни, ғылымды қарқынды дамудың төте жолы ретінде қарастыруымыз керек. Ұлы ағартушы-ғалым Ахмет Байтұрсынұлы: «Озғандарға жету керек. Жеткендерден озу керек» деген сөзі өзекті.

Жасанды интеллект туралы мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаев: «Елімізде жасанды интеллект – қауіпсіздік жүйесі медицина, банк қызметі, логистика, білім беру салаларына ойдағыдай енгізіліп жатыр. Осы технологияны меңгерген мықты компаниялар да пайда болды. Соған қарамастан жасанды интеллект индустриясын одан әрі дамыту үшін мемлекет кешенді қолдау көрсетуі керек. Мәліметтер мен технологиялық инфрақұрылым барынша қолжетімді болуы керек. Сондықтан қолайлы экожүйе қалыптастыру қажет. Сонымен қатар, бізге жасанды интелектіні дамытатын тиісті институттар керек. Бұл мәселе бойынша айтылған ұсыныстыр мен қолдаймын» [2].

Білім беру саласында жасанды интеллект бағдарламалық оқылымға енгізудің тиімділігі орасан зор. Әсіресе, жоғары оқу орындарындағы өзге тілді ұлт-өкілдеріне мемлекеттік тілді меңгерту үшін тиімді. Қазақ тілін үйрететін мамандарға ақпараттық-коммуникациялық технология және бағдарламалық-аппараттық оқыту құралдарының жүйесіне негізделеді. Жоғары кәсіптік білімді дамытудың заманауи талаптарына баса назар аударады.

Ғаламданумен қарым-қатынаста тілді үйрену мен үйрету қажеттілігі күннен-күнге артып келе жатыр. Тіпті соңғы бес жылға артқа шегінер болсақ, қазіргі кезде мемлекеттік тілді үйренемін деген адам саны арты. Тіл үйренушілерге жасанды интеллектіні пайдаланудың негізгі жолдарының бірі мобильді қосымшалар, интернет ресурстары, онлайн платформаларды пайдалану.

ЖОО-ларда өзге ұлт өкілдеріне қазақ

тілін оқытуда жасанды интеллектіні (ЖИ) қолдану мақсаты – сандық қоғамдағы мемлекеттік тілді тиімді үйретудің жолы ретінде қарастыру. Жасанды интеллект әдетте адамның интеллектуалды қабілетін қажет ететін және жүйелерді құрумен айналысатын технологиялық құрал. Жасанды интеллект оқытуды, логиканы, жоспарлауды, сөйлеуді тануды, қабылдауды және есептерді шешуді имитациялауға және талдауға тырысады. Жасанды интеллектінің артықшылықтары келесідей:

1. Мәліметтерді тез арада алу;
2. Мәліметтерге негізделген тиімді шешімдер;
3. Инновациялық жұмыс орындар;
4. Энергия тасымалдаушыларға тәуелді болмау;
5. Субъектіліктің аздығы.

Бұл әртүрлі салаларда жұмыс істеудің әр аспектілерін автоматтандыру және адамның ойлау қабілетін формаландыру, модельдеу және оларды программалау моделімен айналысатын информациялық жүйе.

Шетелдік Thornbury, Harmer сынды тілші ғалымдардың зерттеуі бойынша адамның ойлауын тілді меңгеруге қысқа мерзімді жады уақытша телефон нөмірін жаттау, емтиханға әзірлену т.б. ұзақ мерзімді жады бірдей қатысады. Алайда екінші тілді тиісті дәрежеде меңгеру үшін, атап айтқанда, сөздік қорды күнделікті тұрмыста еркін қолдану үшін соңғы аталғанының маңызы өте зор.

Қазақ тілі – бай, ауқымды тілдің қатарына жатқандықтан, оны цифрлық технологиялар негізінде кез-келген білім алушыға ұсынудың бірнеше әдіс-тәсілдерін айқындауға болады. Біріншіден, цифрлық технология – тілдің сақталуы мен қолданым аясының кеңеюін қамтамасыз етеді. Бұл қазіргі ақылды үй, ақылды көліктерді, виртуалды көмекшілердің қазақша қолданылуына үлкен үлес қосады. Яғни, «шамды қос, немесе өшір», «солға немесе оңға жүр» деген сияқты қазақ тілінде басқару жүйелерін интеграциялауға әсер етеді. Сондай-ақ, жас ұрпақтың тіліміздің ұғыну мен танылуына, коммуникациялық қолданылу жүйесіне, сөйлеу мен түсінуге ынталандырады [3]. Қазақ тілін оқытуда жасанды интеллект қолдануда тілдік дағдының 4 бағыты бойынша көптеген тапсырмаларды тиімді пайдалануға болады. Жасанды интеллект адамның интеллектісін түсіну үшін компьютерлерді қолданудың ұқсас міндетімен байланысты, бірақ ол міндетті түрде биологиялық тұрғыдан сенімді әдістермен шектелмейді.

Аталмыш тақырып бойынша біршама зерттеулер жүргізілді. Атап айтсақ, қазіргі кезде «Тіл қазына» ұлттық ғылыми-практикалық орталығында, Л.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінде де жүйелік индикаторлар ойлап табылған, әрі іске асырылуда [4].

Зерттеу әдістері мен материалдар.

1991 жылы шет елдік ғалымдар ұрпақтар теориясын жазған. Соның ішінде 2000 жылдардан кейінгі туған ұрпақты, технологияның тілін меңгерген жастарды Z-ұрпақтары деп атаған екен. Z-ұрпағының өкілдері кітап оқымайды, аулада аз серуендейді, олар алаңға шығып, футбол ойнағаннан гөрі компьютерде футбол ойнағанды жөн көреді. Ал 2010-жылдан кейінгі ұрпақты α-ұрпағы деп атайды. Бұл ұрпақтың ерекшеліктері ақпаратты тез қабылдау мен қызығушылық танытқан болса тез тауып алады. Яғни, гаджеттер – қазіргі заманғы адамның өмірінің ажырамас бөлігі. Сондықтан қазіргі жастарды ғаламтордан алшақ ұстаудың, техникадан оқушаулауға тырысудың қажеті жоқ. Керісінше, осы құрылғыларды пайдаға жаратып, одан дұрыс ақпараттар алу керектігін, оны түсініп жүйелеуге үйретуіміз қажет.

Ақпараттық-сандық қоғамның сабақта көрінісін нейро-сеть арқылы дайындалған түрлі платформалар негізін көрсетумізге болады. Яғни, сабақтағы мәтінде өзіміз оқымай, оның барысын арнайы платформалар арқылы жасалған роботтарды сөйлету. Онлайн қосымшаларға өзіміз ЖОО-ларда пандемия кезінде қолданған Kahoot, WordWall, Padlet, Quizziz сияқты платформаларға сабақтар нұсқалары жасайды. Мәселен, сөздік қорды меңгертуге WordWall, Quizlet платформасын пайдаланса, алған білімді бекітуге Kahoot, Quizz, LearningApps.org, Wizer.me қосымшаларын тілге тиек етейік.

Қазақ тілі сабақтарында ЖИ қолдану ең бірінші коммуникативті құзыреттіліктері дамытуға бағытталауы тиіс. Білім алушыларды сөйлеуге, айтылған ақпаратты түсінуге, өзінің ойын жеткізуге дағдыландыру. Бұл бірінші кезекті сөздік қор, 4 дағды негізі мен осы құралдарды қолдана отырып қазақ тілінің құндылығын түсіндіруге және білім алушының метапәндік дағдыларын дамытуға жол ашады. Білім алушы ЖИ қолдану барысында сыни ойлау, креативті ойлау, мәселелерді шешу, сұрыптау, жүйелеу, анализ жасау, жоғарғы ойлау деңгейлерін де дамыту қажет.

Жасанды интеллект білім беруде қолданылуы мүмкін тағы бір сала – интеллектуалды репетиторлықты дамыту. Бұл жүйе ЖОО-дағы студенттерге саналы түрде тілді жетік меңгеруге ықпал етеді. Оқытушының мақсаты – мемлекеттік тілді кәсіби меңгерту. Осы мақсат негізінде арнайы мазмұндық бағдарлама әзірленіп, деңгейлік дәрежеге сай мәтіндер мен тапсырмалар, аудармалар, модульдер негізі жүйеленетін міндеттер қо-

йылады.

ЖИ негізінде ChatGPT – қосымшасын білім алушылар өзінің қажеттілігіне жаратып қана қоймай, идея алу үшін оңтайландыруы қажет. Егер білім алушы ChatGPT қосымшасын тек өзінің қажеттілігіне ғана қолданатын болса, «академиялық адалдыққа» жатпайтын іс-әрекет деп есептелінеді.

ЖИ сабақта қолдану қажеттілігінен білім алушының цифрлық құзыреттілігі пайда болады. Цифрлық құзыреттілікке цифрлық сауаттылық, медиасауаттылық, ақпараттық сауаттылық кіреді.

Цифрлық сауаттылық туралы М.В.Кузьмина былай деген: «Цифрлық сауаттылық – жауа әлеуметтік форматтағы қарым-қатынас құру қабілеті, қарым-қатынас әдебін сақтау және қарым-қатынас кезінде мұқият бола білу» [5]. Цифрлық сауаттылық ұғымының аясы кеңейіп, өз ішінде бірнеше сауаттылық түрлерін қамтиды. Олар төмендегідей:

1. Компьютерлік сауаттылық;
2. Ақпараттық сауаттылық;
3. Медиасауаттылық;
4. Коммуникативтік сауаттылық;
5. Визуалды сауаттылық.

Бұл сауаттылықтар компьютерлік операциялық жүйелерді және бағдарламаларды түсіну, цифрлық мазмұнмен жұмыс істеу, медиаконтент құру, әлеуметтік желілерде және ортада қарым-қатынас этикасын сақтау, түрлі сурет, сызба мен диаграммалар мен шартты белгілерді түсіндіре білу қабілеті.

Сабақ үдерісінде ЖИ қолдана отырып, оқушылардың медиасауаттылығын төмендегідей дамыта аламыз:

1. Жаңалықтарды талдау;
2. Сыни ойлау дағдыларын дамытуға бағытталған сұрақтар ұсыну;
3. Дереккөздерді салыстыруға бағытталған тапсырмаларды ұсыну;
4. Медиа-материалдар әзірлеу;
5. Шынайы өмір жағдайында кездесетін кейстерді талдау.

Тыңдаушының жекелік ерекшелігін ескерудің маңыздылығы. Қызығушылықты, қажеттілікті, психологиялық ерекшелікті, жас шамасы мен жынысына, әлеуметтік жағдайына сай келетін сөздік қорды тыңдаушыға ұсыну нәтижелі әрі өнімді болары сөзсіз. Мәселен, тыңдаушыға сүйікті музыка жанрынан болып келетін әнді тыңдап, тапсырма орындауды ұсыну арқылы мақсатты оқыту әрекетін (лексикалық қорды байыту) жүзеге асыра аламыз.

Оқытушының ресурс ретіндегі қызметі:

● Тіл үйрету стратегияларын жетік игеруі;

● Оқушы қажеттілігін (тақырыптық қызығушылығынан хабардар болу, сөздік қоры мөлшерін бағамдай білуі, сынып пен жеке оқушының жылдамдық межесін бағалауы мен үйлестіруі) аңғара білуі;

● Мұғалімнің тікелей үлгі (модель) бола алуы.

Цифрлық қолданыстың барлығы ағылшын тілінен «digital storytelling» сөзінен шыққан. Бұл әңгімелеу, қызықты әңгіме өнері деген мағынаны білдіреді. Аталған әдісті Дэвид Армстронг жасаған [6]. Яғни, әңгіме құру барысында психологиялық факторды ескере отырып, әңгімелердің жеңіл қабылдануы мен логикалық дәлелдер пайымдалады. Адам тыңдау арқылы сенімділікті қалыптастырады, әрекеттерді ынғайластырады.

Кез-келген цифрлық әрекеттерді құруда өзіне жүйелері бар:

1. Автордың негізгі көзқарасы;
2. Назар аударатын сұрақтар қойылуы;
3. Эмоциялық мазмұндар арқылы ойландыру;
4. Дауыс ырғағының ерекше берілу әрекеті;
5. Фондық дыбыстар;
6. Ақпараттың ықшамдылығы;
7. Оқиғаның берілу қарқыны.

Зерттеу барысының нәтижелері мен талқылау.

ЖИ құралдарын қазақ тілі сабақтарында қолданудың негізгі жұмыстарымыз 4 тілдік дағды бойынша төмендегідей жүзеге асады:

1. Айтылым дағдысына визуалды ақпараттар: графика, инфографика.
2. Оқылым дағдысына электронды оқу құралдары: сөздіктер, энциклопедия, электронды кітаптар.
3. Жазылым дағдысына интерактивті құралдар: онлайн қосымшалар.
4. Тыңдалым дағдысына аудиожазбалар.

Оқылым дағдысы. Білім алушының оқылым дағдысын дамыту үшін қызығушылықтарына сай мәтіндер әзірлеу, аутентті цифрлық мәтіндер құру, әр деңгейлі тапсырмалар жасау қажет.

Мәтіннің екі түрі бар. Оның бірі бірмодальді және мультимодальді мәтіндерді айтамыз. Мультимодальді мәтін компонентті. Оған дыбыс, видео, суреттер, диаграммалар, гипермәтіндер, сілтемелер жатады. Мультимодальді аутентті цифрлық мәтінді әзірлеу үшін Google аккаунт арқылы тіркеліп, Pictochart. Quizlett. PowerPoint қосымшаларды QR-код арқылы қызықты етіп өткізуге болады. Мәселен, B1 орташа деңгейіндегі қазіргі жаңадан еңгізілген «Менің туған жерім» тақырыбына инфография әзірлеп, гипермәтінді ақпаратты жоғарыда аталған платформалар негізіне салып, гипермәтін ұсыну арқылы 50-60 сөзден тұратын жауап жазуын талап етуге болады. Нәтижесінде оқытушы білім алушыға компьютерде жұмыс жасай отырып, ауқымды мәліметтер арқылы білім алуға әрі оны жетілдіруге ықпал етеді.

Тыңдалым мен айтылым дағдысына білім алушының қызығушылығына сай мәтіндер мен графикалық құралдармен жұмыс жасау. Тыңдалым мен айтылым дағдысын дамытуға арналған Narakeet.com, Voki.com, StoryJamper.com, D-ID сияқты қосымшаларын қолдануға болады. Мәселен Google еңгізуші жолағына Voki.com қосымшасы арқылы түрлі тақырыпқа сай кейіпкерлерді сөйлетуге болады. Артынша тест тапсырмаларға жауап береді. Сондай-ақ, білім алушы да сол кейіпкерлер әлеміне еніп еркін сөйлеуге дағдыланады.

Айтылым тапсырмасына «digital storytelling» цифрлық қолданысқа «Маған ұнайтын спорт түрі» тақырыбына мультимедиялық компоненттеріне мынадай тапсырмалар әзірлеуге болады:

1. Визуалды материалдарды жүйелі баяндай отырып жоғарыда атап кеткен voki.com, capcut арқылы бір кейіпкерді таңдау;
2. Кейіпкердің образына енуге мүмкіндік беру;
3. Әр білім алушыға кез-келген бір спортшының өмірі мен жетістіктерін жасанды интеллект арқылы сөйлету, яғни audacity онлайн диктофоны арқылы мәтінді дыбыстату;
4. Дайын болған өнімді жариялап, таныстыру.

Жазылым дағдысына Canva, StoryboradThat, Animaker, Prezy, StoryJamper сияқты креативті жазылым тапсырмаларын құрауға болады. Бұл платформалар арқылы түрлі комикстер арқылы сұқбат, ақпарат беру сияқты тапсырмалар жүйесін әзірлей аламыз. Яғни, бұлар қосымшалар жазылым дағдысын дамытатын көпірше десек артық емес. Сюжеттік тапсырмалар арқылы кез-келген оқиғаны өрбітуге, ішкі келбетіне саяхаттауға, тарихи орындарға сапар шегуге мүмкіндік береді. Осылайша білім алушы тілді оңай меңгере алады.

Тілді үйретудің коммуникативтік құзыреттілігі грамматикалық формулаға салуды үйретумен ғана шектелмейді. Грамматикаға негізделген оқыту ол қазіргі кезде пассивті оқыту деп аталады. Себебі, біз тілді ғылым ретінде қарастырамыз, ереже жаттатамыз, жаттығу орындату сияқты іс-әрекеттермен шектелеміз. Ал белсенді оқыту – коммуникацияға негізделеді. Яғни, тілдік қарым-қатынас жасай алу қызметі атқарылуы, қоғамдағы әлеуметтену мен сөйлеу жүйелерін қалыптастырушы құрал. Коммуникативті тәсілдеменің негізгі қағидаттары мыналар:

1. Мәтін ұсынуда мағынасы мен мазмұнына назар аудару;
2. Қарым-қатынас жасауда диалогтар фунционалдық мәнге ие болуы;
3. Қателесуден қорықпау;
4. 4 тілдік дағдыны дамытуға назар аудару;
5. Грамматика контент негізінде меңгерілуі.

Осындағы қателесумен жұмыс барысында сабақта білім алушы қате айтқан жағдайда, оның қатесін бірден түземей, соңында жалпылама түрде айту – білім алушының ынтасын ашады.

Сабақ барысында жаңа сөздерді үйрету. Жаңа сөздермен жұмыстың пайдасы – білім алушының санасында ұзақ мерзімде сақталу үшін, тілдік қорды дамытуға бағытталатын жұмыс. Яғни, жаңа сабақты өту барысында ұстаз өз оқушыларына мәтін бойынша жаңа сөздерді жаздырады. Бірақ бұл сөздер бір рет айтылып ұмыт болатын жағдайлар көп. Сондықтан бүгінгі өтілген жаңа сөз келесі сабақта міндетті түрде мәтіннің ішінде қайталануы керек. Жаңа сөздердің санада ұзақ мерзімді сақталуына әсер ететін факторлар:

1. Қайталау;
2. Елестету;
3. Сөздің қолданыстық үлгісін ұсыну;
4. Когнитивті тереңдікті қамту;
5. Аңғарымсыз сөз жаттату;
6. Жаттығу.

Жаңа сөздерді жаттату жолдарына суретті карточкалармен жұмыс, күйзенер таяқшасы немесе түрлі түсті доптармен жұмыс, сөздіктен іздету, көрнекі затты пайдалану, қысқа мәтіндер оқуға ұсыну, интенсивті және экстенсивті оқылым ұсыну, интерактивті ойындар ойнату, жаттығу орындату, сұрақ, өлең, жұмбақ, әңгіме т.б. құрастыру сияқты амалдарды пайдалануға болады.

Тілді үйретуде ойын технологиясын пайдалану да маңызды. Сергіту сәтінде «Кім жылдам?», «3 атау», «1-2-3» сияқты түрлі сені бақытты ететін 1 зат, өміріңізде болған 2 оқиға, болашақта жасағын келетін 3 нәрсе сияқты түрлі типтегі ойындар әзірлеуге болады.

Қарқынды дамып келе жатқан білім беру саласында жасанды интеллект (ЖИ) инфузиясы дәстүрлі парадигмаларды қайта қалыптастыратын және педагогикалық мүмкіндіктердің жаңа дәуірін ашатын трансформациялық күш ретінде пайда болды. Бұл зерттеу білім беру платформаларын тиімді пайдалануға назар аудара отырып, ЖИ мен білім беру арасындағы динамикалық өзара әрекеттесуді зерттейді.

Қорытынды

Бұл мақалада В1, В2 деңгейлеріне арналған ЖИ қолданысқа енгізу барысындағы тәжірибелік зерттеулер жүргізілді. Ә.Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінде дәстүрлі оқытудан алшақ, жасанды интеллекті арқылы білім берудің әдістемелік нұсқаулары қарастырылды. Зерттеу барысында білім алушыларға оқытуда ЖИ

қолдану тиімділігі анықталды. Дегенмен ЖИ қолдану жүйесінің әдістемесі әзірленуін қамтамасыз ету керектігі жоспарланды. Осы нәтижелерге сүйене отырып студенттерге ЖИ арқылы жұмыс жасау кезінде шектеулер мен қиындықтар туындамағаны анықталды.

Қазіргі цифрландыру дәуірінде білім берудің 4 дағдысын қамти отыра, студенттерге сабақты қызықты өткізудің жолдарын іздеуіміз керек. Сондықтан әр педагог жаңашылдыққа жақын жүруі, оны өзіне сіңіріп, білім алушыға тез әрі ұтымды пайдалануы керек.

Қаржыландыру. *Бұл зерттеу жұмысы Жас ғалымдарға арналған «Ә.Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ-ның «Жасанды интеллект» технологиялары негізінде тілді кешенді оқыту жүйесін әзірлеу жобасы аясында 2024-2025 жылдарға арналған гранттық қаржыландыру шеңберінде орындалды.*

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Асамбаев А. Ж. Жасанды интеллект негіздері: Оқулық. – Алматы: «Дәуір» ЖШС РПБК, 2011. – 136 б.
2. Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаев. 12 сәуір 2024 жылы Ғылым және технологиялар жөніндегі ұлттық кеңестің отырысында сөйлеген сөзі.
3. Лорьер Ж.Л. Системы искусственного интеллекта / Пер. с франц. – М.: Мир, 1991. – 568 с.
4. «Тіл-Қазына» жасанды интеллект бойынша жұмысын жандандыруда (мақала). https://qazgpt.kz/index.php#about
5. Abdrazakh Y., Turganbayeva A., Rakhimova D. Development and Study of an Approach for Determining Incorrect Words of the Kazakh Language in Semi-structured Data // In: Wojtkiewicz K., Treur J., Pimenidis E., Maleszka M. (eds) Advances in Computational Collective Intelligence. Communications in Computer and Information Science. – Springer, Cham, 2021. – Vol. 1463. – Pp. 535-545. (Scopus) https://doi.org/10.1007/978-3-030-88113-9_43
6. Рахимова Д.Р., Абдразах Ы.Қ. Жартылай құрылымды мәліметтердегі қазақ тілінің дұрыс емес сөздерін анықтау моделін зерттеу және әзірлеу // Труды международной научно-практической конференции «Ауэзовские чтения – 19: 30 лет независимости Казахстана». Том 1. – Шымкент: ЮКУ им. М. Ауэзова, 2021 г. – С. 3-8.

Преподавание казахского языка в вузах с использованием искусственного интеллекта

ЖАЛДЫБАЕВА Айнур Жакыпбаевна, *магистр, преподаватель,*
zholdybaeva-1997@mail.ru,
КЕНЖЕБЕКОВА Айгерім Ерболқызы, *магистр, преподаватель,*
ajgerim.kenzhebekova@mail.ru,
НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассматривается эффективность преподавания казахского языка студентам высших учебных заведений с использованием искусственного интеллекта. Были изучены преимущества искусственного интеллекта для представителей других наций и проведен анализ цифровых приложений. Цель исследования – определить эффективность искусственного интеллекта в изучении языка. Были рассмотрены онлайн-платформы и приложения, интернет-ресурсы, созданные искусственным интеллектом на основе 4-х языковых навыков для студентов. Методика повышения цифровой грамотности была проведена для изучения языка с помощью гаджетов.*

Ключевые слова: *казахский язык, искусственный интеллект, онлайн-платформа, языковые навыки, знание языка, цифровая грамотность.*

Teaching the Kazakh Language in Universities Using Artificial Intelligence

****ZHALDYBAEVA Ainur,*** *Master's Degree, Teacher, zholdybaeva-1997@mail.ru,*
KENZHEBEKOVA Aigerim, *Master's Degree, Teacher, ajgerim.kenzhebekova@mail.ru,*
NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The article examines the effectiveness of teaching the Kazakh language to students of higher educational institutions using artificial intelligence. The benefits of artificial intelligence for representatives of other nations were studied and an analysis of digital applications was carried out. The purpose of the study is to determine the effectiveness of artificial intelligence in language learning. Online platforms and applications, Internet resources created by artificial intelligence based on 4 language skills for students were reviewed. A technique for increasing digital literacy was carried out for language learners with the help of gadgets.*

Keywords: *kazakh language, artificial intelligence, online platform, language skills, language knowledge, digital literacy.*

REFERENCES

1. Asambaev A.J. Fundamentals of Artificial Intelligence: Textbook. Almaty, LLP RPBK «Era», 2011. – 136 p.
2. Head of State Kassym-Jomart Tokaev. Speech at the meeting of the National Council on Science and Technology on April 12, 2024.
3. Laurier J.L. Artificial intelligence system. Per. s French. – Moscow: Mir, 1991. – 568 p.
4. «Til-Kazyna» is revitalizing its work on artificial intelligence (article). https://qazgpt.kz/index.php#about
5. Abdrazakh Y., Turganbayeva A., Rakhimova D. Development and Study of an Approach for Determining Incorrect Words of the Kazakh Language in Semi-structured Data // In: Wojtkiewicz K., Treur J., Pimenidis E., Maleszka M. (eds) Advances in Computational Collective Intelligence. Communications in Computer and Information Science. – Springer, Cham, 2021. – Vol. 1463. – Pp. 535-545. (Scopus) https://doi.org/10.1007/978-3-030-88113-9_43
6. Rakhimova D.R., Abdrazakh Y.K. Research and development of the model for identifying incorrect words of the Kazakh language in semi-structured data. Volume 1. – Shymkent: YKU im. M. Auezova, 2021. – Pp. 3-8.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_233 ӘОЖ 1174

Студенттердің жоғары оқу орнына бейімделуінің өзекті проблемалары

[1]*АУЕЗОВА Амина Танатаровна, PhD, доцент, auezova-amina@mail.ru,
[2]АБДУГАЛИНА Сайран Ерденқызы, п.ғ.к., доцент, Sairan.abdugalina@mail.ru,
[3]МЕЙРМАНОВ Асылбек Бекболатович, п.ғ.к., қауымдастырылған профессор, asylbek.meirmanov@mail.ru,
[3]САДЫКОВА Рысты Каруевна, PhD, доцент, r.sadykova59@mail.ru,
[2]МАЙМУРУНОВА Акмарал Акжоловна, PhD, аға оқытушы, akkma@mail.ru,
[1]«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан,
[2]Esil University, А. Жұбанов көшесі, 7, Астана, Қазақстан,
[3]Астана халықаралық университеті, Қабанбай батыр даңғылы, 8, Астана, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Қазіргі жастардың басым бөлігі өзгеріп отыратын дүниенің жағдайларына бейімделуге және дамуға байланысты мәселелер қарастырылады. Жастардың бейімделу жағдайлары, болашақ мұғалім жайлы сөз қозғалғанда өзекті мәселелерді білмеуі де кездеседі. Жас маманның дайындалуында кәсіби педагогикалық іс-әрекеті де сипатталған. Мақалада оқушылардың дайындық және даму деңгейіне байланысты мәселелер де қозғалған. Жоғары оқу орнындағы білім беру жүйесі қоғамдық өмірдің өзгерістеріне байланыстылығы, дәстүрлі түсініктегі білім ғана кешегі студенттердің табысты бейімделуінің құралы ретінде көрсетілген.

Кілт сөздер: жалпы бейімделу, жеке тұлға, жоғары оқу орны, іздену белсенділігі, кәсіби бейімделу, әлеуметтік психологиялық бейімделу, білімді бағалау.

Кіріспе

Студенттердің жоғары оқу орнына бейімделуі оқу бағдарламасын меңгеруді ғана емес, сонымен бірге жаңа ортаға әлеуметтік-психологиялық бейімделуді қамтитын күрделі процесс. Негізгі мәселелердің бірі – студенттердің жалпы бейімделуі. Университет студенттерге көптеген жаңа адамдармен, талаптармен және үміттермен бетпе-бет келетін жаңа орта. Олар оқу кестесін, оқу сабақтарының құрылымын меңгеруі керек, сонымен қатар өз уақытын ұйымдастыруды үйренуі керек.

Студенттердің сәтті бейімделуінің маңызды құрамдас бөлігі тұлғалық бейімделу болып табылады. Университет студенттерге жеке қасиеттерді, дербестік пен өзін-өзі дамытуға мүмкіндік береді. Кейбір студенттер өздерінің мақсаттары мен мүдделерін анықтауда, сондай-ақ жаңа әлеуметтік рөлдерді қабылдауда қиындықтарға тап болуы мүмкін. Бұл сенімсіздік сезімін тудыруы мүмкін және бейімделуді қиындатады.

Студенттер үшін кәсіби бейімделу де маңызды мәселе болып табылады.

Дегенмен, кейбір студенттерге кәсіби жолын анықтау немесе үйренгендерін іс жүзінде қалай қолдану қиын болуы мүмкін. Білімді бағалау студенттердің университетке бейімделуінің маңызды аспектісі. Жоғары оқу орны студенттердің білімі мен дағдыларына жоғары талаптар қояды. Студенттердің жоғары оқу орнына бейімделуі жалпы бейімделу, тұлғалық бейімделу, ізденіс белсенділігі, кәсіби бейімделу, әлеуметтік-психологиялық бейімделу және білімді бағалауды қамтитын көп қырлы процесс.

Әдебиеттерге шолу

Белгілі Кеңес Одағының психологы Б.Г. Ананьев студенттік кезең, жеке адам тұрғысынан алғанда, адамгершіліктік және эстетикалық сезімдердің даму кезеңі, ересек адам ретінде азаматтық, саяси-қоғамдық және кәсіби мамандық міндеттерінің тұрақталу және толысу кезеңі деп көрсеткен.

Қазіргі таңдағы ғылым мен тәжірибеде бейімделу түсінігі студенттердің дайындығының тиімділігін жоғарылату әдісін өңдеумен айналысады. Бейімделу – әлеуметтік ортаға жеке тұлғаның үнемі белсенді лайықтану үрдісі, сондай-ақ осы үрдістің нәтижесі [1, 2].

Ғалымдар Д.Б.Богоявленская, Ю.Н. Ку-

люткина, Н.А. Милославованың соңғы зерттеулерінде бейімделудің тұлғаның өзінің оқу және тәрбиеде белсенділігінен тәуелділігі атап көрсетілді. Кәсіби педагогикалық дайындыққа бейімделу үрдісінің мағыналық сипаттамаларын түсіну үшін негізгі қызметтер бөлініп алынды: коммуникативті, мотивационды, бағыттаушы, дамытушы, когнитивті. В.Франклдың пікірінше, бейімделу – рухани денсаулыққа қол жеткізу және тұлға мен қоғамның құндылықтарын үйлестіру [3].

Жоғары оқу орнында білім алу уақыты жастық шақтың екінші кезеңімен немесе жеке бас қасиеттерінің қалыптасу күрделілігімен ажыратылатын зерделік шақтың бірінші кезеңімен сәйкес келеді. Осы зерделік шақтың бірінші кезеңі Б.Г. Ананьев, А.В. Дмитриев, И.С. Кен, В.Т. Лисовский, З.Ф. Есаревтің және т.б. еңбектерінде талданады.

Талдау нәтижелері

Көптеген студенттер оқудың алғашқы айларында бейімделу проблемаларына тап болады. Бұған академиялық мәселелер де (оқу бағдарламасын меңгеру, талаптар мен үміттердің артуы) және әлеуметтік-психологиялық факторлар (оқшаулану сезімі, стресс, әлеуметтік байланыстарды орнатудағы сенімсіздік) себеп болуы мүмкін.

Студенттердің сәтті бейімделуінде тұлғалық бейімделу маңызды. Олар дербестікке дайын болуы, оқуға жауапкершілікпен қарауы, табандылық, өзін-өзі реттеу және бейімделу сияқты жеке қасиеттерін дамытуы т.б. [2, 3]. Кәсіби бейімделу – білімдері мен дағдыларын тәжірибеде қолдануға ұмтылатын студенттер үшін маңызды аспект [1, 3]. Студенттердің бейімделуіне байланысты проблемалар оқу нәтижесіне, мотивациясына және оқу процесіне кері әсер етуі мүмкін [4, 5].

Студенттердің мінез-құлқы мен іс-әрекетінде мынадай белгілердің болуы: 1) университеттегі оқу және сабақтан тыс жағдайларда студенттің психологиялық және физикалық жағдайы; 2) білім алушының өзіне қойылған үміттер мен талаптарды қабылдауы 3) университетте болып жатқан жағдайға өзіне қажетті бағытты білуі және өзінің білім беру және жеке ұмтылыстары мен мақсаттарын табысты жүзеге асыру үшін жағдайды пайдалана білу [6, 7].

О.Ю. Мюллердің, Н.А. Ротованың пікірінше, әлеуметтік-психологиялық бейімделудің жетістігі студенттердің өздерінің мінез-құлық стиліне негізделген оқытушылармен және курстас студенттермен қарым-қатынасты қаншалықты тиімді құра алатындығымен сипатталады. Сәтті әлеуметтік-психологиялық бейімделу іс-әрекеттегі қиындықтарды жеңу [8, 9]. Әлеуметтік-психологиялық бейімделушілік әлеуметтік ортаға қатысты тұлғаның өзін-өзі анықтауы және осы ортада өзі үшін мағыналар мен мақсаттар жүйесін құру [10, 11].

Студенттердің бейімделу мәселесі жоғары оқу орындарына түсетін жастардың денсаулық жағдайымен күрделенеді. Бұл дене шынықтыру пәнінен студенттерді практикалық сабақтарға бөлуде қатты байқалады [12]. Студенттік кезең студент тұлғасы үшін ең сезімтал кезең және оның оқу үлгерімі жаңа жағдайларға қаншалықты бейімделгеніне байланысты болады.

Материал және әдістер

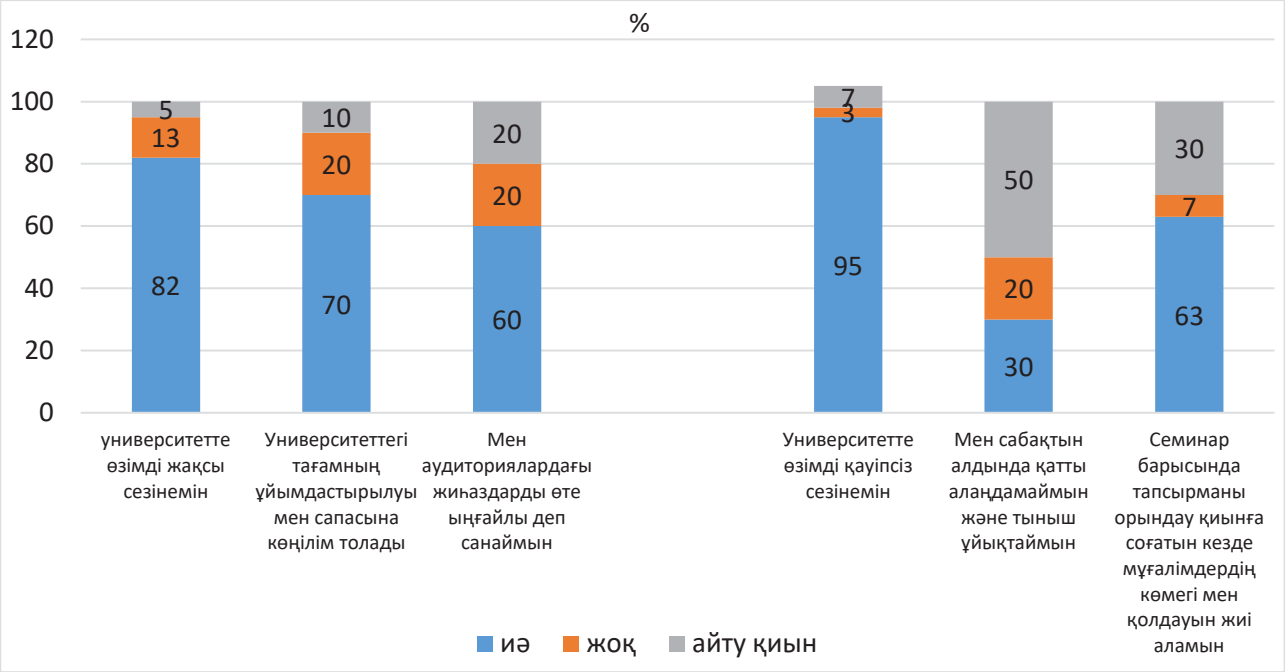
Ғылыми жұмыстың зерттеу әдісі «Университеттегі студенттердің бейімделуі» әдістемесіне негізделген сауалнама түрінде өтті. Зерттеу мақсаты: 1 курс студенттерінің әлеуметтік коммуникативті бейімделуі және оқу үлгерімі арасындағы байланысты түсіндіру. Сауалнама 2024 жылдың қараша айында жасырын түрде өтті. Сауалнамаға Есіл университетінің «Digital маркетинг», «Менеджмент», «Қаржы», «Есеп және аудит», «Экономика» білім беру бағдарламаларының бірінші курста оқитын 338 студенті қатысты.

Сауалнамада жүргізу бойынша келесі нәтижелер алынды. Респонденттерге университетте болу үрдісін бағалау ұсынылды. Бірінші курс студенттерінің төрттен үш бөлігі университетте өзін жақсы сезінеді. Респонденттердің 80%-ң денсаулығы жақсы, бұл академиялық табысқа жету үшін маңызды (1-сурет). Студенттердің үлгерімі, танымдық белсенділігі олардың салауатты және теңгерімді тамақтанумен байланысты. Респонденттердің 70%-ы тамақтанудың сапасына қанағаттанған (1-сурет).

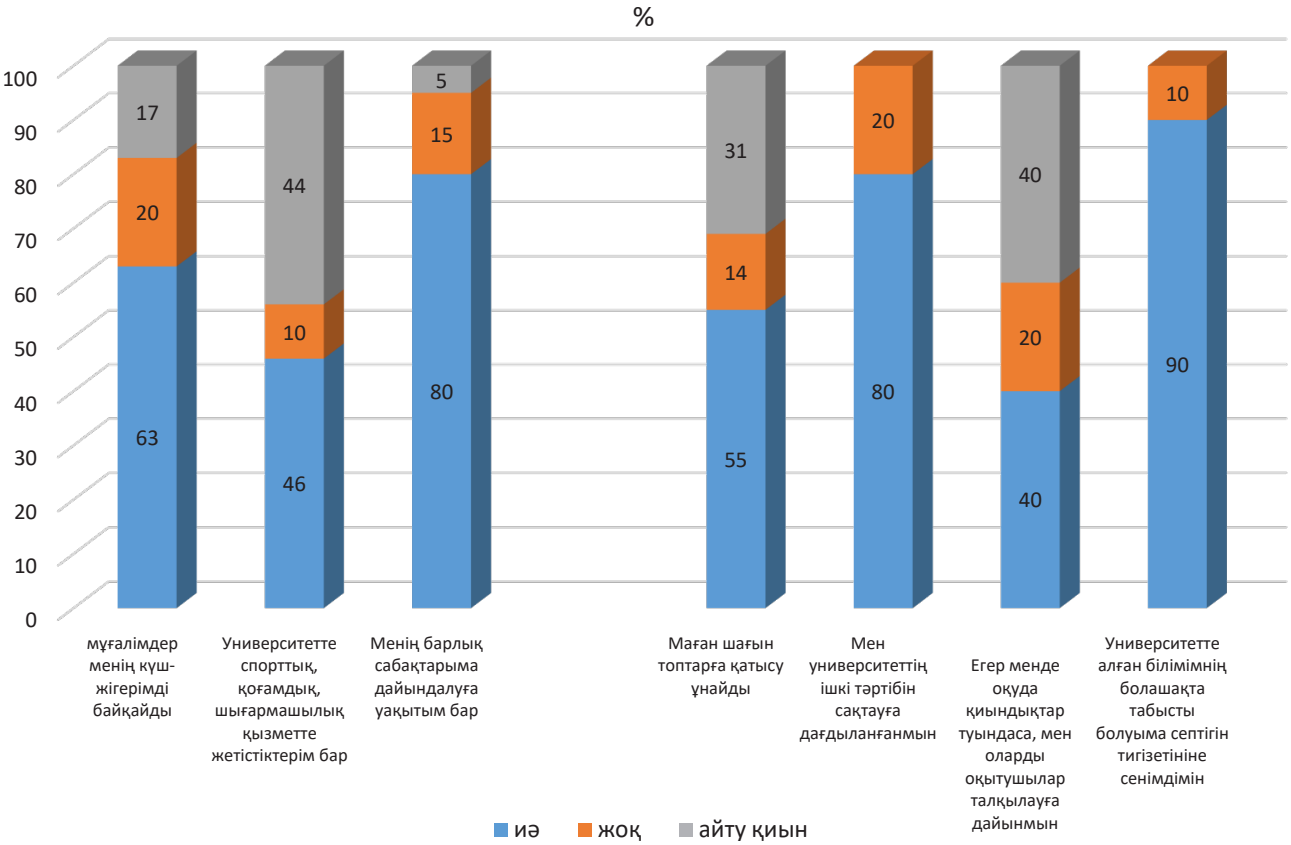
Студенттер күніне шамамен 6-8 сағатын университетте өткізеді. Физикалық белсенділіктің болмауына, ұзақ статикалық жүктемелерге, сондай-ақ студенттердің бойына сәйкес келмейтін жиһаздарға байланысты заманауи білім беру ортасы тірек-қимыл аппаратының қалыптасуына кері әсері бар деп респонденттердің 16%-ы және 20% аудиторияны ыңғайсыз деп атады (1-сурет). Сауалнамаға қатысушылардың 90%-ға жуығы мәдениетаралық қарым-қатынасқа ашық және >93%-ы мүмкіндігі шектеулі студенттермен араласуға дайын екендіктерін білдірді.

Студенттердің 46%-ы ғана университетаралық іс-шараларға, волонтерлік іс-шараларға және ғылыми конференцияларға қатысады, ал оқудан тыс секцияларға және факультативтерге 37%-ы ғана қатысады. Мұндай көрсеткіш бейімделу процесінде әрбір үшінші студенттің барлық академиялық сабақтарға дайындалуға уақыты аздығымен түсіндіріледі (2-сурет).

Әрбір екінші респондент оқу жетістіктерін атап өтеді, әрбір үшінші оқу жетістіктерін бағалауда қиналады. Дегенмен, респонденттердің басым көпшілігі (63%) олардың



1-сурет – «Esil University» студенттерінің әлеуметтік коммуникативті бейімделуі



2-сурет – «Esil University» студенттерінің оқу үрдісіндегі жетістіктері мен университет қабырғасындағы іс-шаралары

оқудағы жетістіктері оқытушылардың назарынан тыс қалмайтынын айтады (2-сурет).

Қорытынды

Бірінші курс студентінің әлеуметтік-мәдени бейімделуі – бұл байланыстар сипатын өзгертудің ұзақ және күрделі процесі (2-сурет), бұл студенттерге ынтымақтастық дағдыларын және басқа да маңызды тұлғааралық қасиеттерді алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, мұндай іс-шаралар студенттерге олардың арасында туындаған келіспеушіліктерді шешуге үйренуге көмектеседі. Жалпы бірінші курс студенттерінің топтық дағдылары жақсы дамыған, ол мұқият дайындық пен кең тәжірибені қажет етеді.

Университетке түскен студенттер жоғары оқу орнының жаңа ережелерімен бетпе-бет келеді. Бұл жағдайда бірінші курс студенттерінің басым көпшілігі университеттің барлық ішкі ережелерін сақтайтыны анық (2-сурет).

Студенттердің басым көпшілігі студенттік өміріне риза, университетте жүргенде өздерін жақсы сезінеді. Кешегі мектеп оқушыларының көпшілігі болашақ мамандығының қаншалықты маңызды және жауапты екенін түсінеді, бұл төменгі курс студенттерінің алаңдаушылығының жоғарылауымен байланысты (45%). Респонденттердің барлығы дерлік кез келген ұлттың өкілімен араласуға және оқытушылардың оң көзқарасын, назарын және көмектесуге дайындығын атап өтеді, сонымен қатар олардың әр сабақта жаңа және құнды білім алатынына сенімділіктерін білдіреді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Столяренко Л.Д. Основы психологии / Л.Д. Столяренко. – 2-е изд. – Ростов н/Д: Феникс, 1997. – 96 с.
2. Стефаненко Т.Г. Этнопсихология / Т.Г. Стефаненко. – М.: Академический проект, 1999. – 152 с.
3. Яковленко Л.Н. Адаптация первокурсников // Аспирант и соискатель. – 2003. – 138 с.
4. Воронский В.А. Исследования студентов к условием в вузы / В.А. Воронский // Соционика. – 2001. – № 6. – С. 15-16.
5. Любимова Г.Ю. От первокурсника до выпускника / Г.Ю. Любимова // Вестник Московского Университета. Серия 14. Психология. – 2001. – № 1.
6. Свиридова Н.А. Адаптационные процессы в среде молодежи / Н.А. Свиридова // Соц. ис. № 1. 2005. – 266 с.
7. Дудник Е.А. Адаптация учащихся младших классов к условиям обучения в среднем звене: Дипломная работа. – Уст-к, 2010. – 149 с.
8. Шайхова М. Жастардың әлеуметтік-психологиялық бейімделу мәселелері / М. Шайхова // Ұлағат. – 2012. – № 1.
9. Халикова Л.С. Адаптация к обучению студентов первого курса средствами физической культуры. Проблемы педагогики. 2020. № 1 (46): 89-91.
10. Поваренков Ю.П., Субботина Р.А. Коррекция установки «жертвы» у студентов медицинского вуза в ситуации учебно-профессиональной адаптации // Ярославский педагогический вестник. 2019. № 4 (109): 140-7. doi:10.24411/1813-145X-2019-10463.
11. Kudryavtsev M.D., Kramida I.E., Iermakov S.S., Osipov A.Yu. Development dynamic of healthy life style personality component in relatively healthy students. Physical education of students, 2016; 20 (6): 26-33. doi:10.15561/20755279.2016.0603.
12. Drogomeretsky V.V., Kopeikina E.N., Kondakov V.L., Iermakov S.S. Adaptation of ruffier's test for assessment of heart workability of students with health problems Pedagogics, Psychology, Medical-Biological Problems of Physical Training and Sports. 2017; 1: 4-10. doi:10.15561/18189172.2017.0101.

Актуальные проблемы адаптации студентов к вузу

[1]*АУЕЗОВА Амина Танатаровна, PhD, доцент, auezova-amina@mail.ru,
[2]АБДУГАЛИНА Сайран Ерденовна, к.п.н., доцент, Sairan.abdugalina@mail.ru,
[3]МЕЙРМАНОВ Асылбек Бекболатович, к.п.н., ассоциированный профессор, asylbek.meirmanov@mail.ru,
[3]САДЫКОВА Рысты Каруевна, PhD, доцент, r.sadykova59@mail.ru,
[2]МАЙМУРУНОВА Акмарал Акжоловна, PhD, старший преподаватель, akkma@mail.ru,
[1]НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан,
[2]Esil University, ул. А. Жубанова, 7, Астана, Казахстан,
[3]Международный университет Астана, пр. Кабанбай батыра, 8, Астана, Казахстан,
*автор-корреспондент.

Аннотация. Рассматриваются вопросы, связанные с адаптацией и развитием к условиям меняющегося мира, в котором проживает большая часть современной молодежи. Отмечается, что современная молодежь не знает особо актуальных вопросов, когда речь идет об условиях адаптации, о будущем учителе. Описана педагогическая деятельность по подготовке молодого специалиста. В статье также затронуты вопросы, связанные с уровнем подготовки и развития учащихся. В настоящее время на начальном этапе профессиональной подготовки также освещается тот факт, что проблема адаптации студентов занимает основное место в педагогической прессе. Система образования в высшем учебном заведении показана как средство успешной адаптации вчерашних учащихся в связи с изменениями общественной жизни, а не только знания в традиционном понимании.

Ключевые слова: общая адаптация, личность, высшее учебное заведение, поисковая активность, профессиональная адаптация, социально-психологическая дезадаптация, оценка знаний.

Actual Problems of Adaptation of Students to Higher Education

[1]*AUYEZOVA Amina, PhD, Docent, auezova-amina@mail.ru,
[2]ABDUGALINA Sairan, Cand. of Ped. Sc., Docent, Sairan.abdugalina@mail.ru,
[3]MEIRMANOV Assylbek, Cand. of Ped. Sc., Associate Professor, asylbek.meirmanov@mail.ru,
[3]SADYKOVA Rysty, PhD, Docent, r.sadykova59@mail.ru,
[2]MAIMURUNOVA Akmaral, PhD, Senior Lecturer, akkma@mail.ru,
[1]NPJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», 2 Satpayev Street, Astana, Kazakhstan,
[2]Esil University, 7 A. Zhubanov Street, Astana, Kazakhstan,
[3]Astana International University, 8 Kabanbay Batyr Avenue, Astana, Kazakhstan,
*corresponding author.

Abstract. The article deals with issues related to adaptation and development to the conditions of a changing world in which most of today's youth live. It is noted that modern youth does not know particularly relevant issues when it comes to the conditions of adaptation, about the future teacher. His professional pedagogical activity for the training of a young specialist is also described. The article also touches upon issues related to the level of training and development of students. Currently, at the initial stage of professional training, the fact that the problem of adaptation of students occupies a major place in the pedagogical press is also highlighted. The education system in a higher educational institution is shown as a means of successful adaptation of yesterday's students in connection with changes in public life, only knowledge in the traditional sense.

Keywords: general adaptation, personality, higher education institution, search activity, professional adaptation, socio-psychological maladaptation, knowledge assessment.

REFERENCES

1. Stolarenko L.D., Osnovy psihologii. 2-e izd. – Rostov n/D: Feniks, 1997. – 96 p.
2. Stefanenko T.G., Etnopsihologia / T.G. Stefanenko. Moscow: Akademicheski proekt, 1999. 152 p.
3. İakovlenko L.N. Adaptasia pervokursnikov. Aspirant i soiskatel, 2003. 138 p.
4. Voronski V.A. İssledovania studentov k usloviem v vuzy / V.A. Voronski. Sosionika. – 2001. No. 1.
5. Lübimova G.İu. Ot pervokursnika do vypusknika, – Moskovskogo Universiteta. Ser 14. Psihologia. 001. No. 1.
6. Sviridova N.A. Adaptasionnye prosesy v srede molodeji. N.A. Sviridova Soc. is. No. 1. 2005. 266 p.
7. Dudnik E.A. Adaptasia uchaşihsä mladşihklasov k usloviam obuchenia v srednem zvene. Diplomnaia rabota. – Ust-k, 2010. 149 p.
8. Saihova M. Jastardyn aleumettık – psihologialyq beiımdelu maseleleri / M. Saihova. – Ulağat. 2012. No. 1.
9. Khalikova L.S. Adaptation to teaching first-year students by means of physical culture. Problems of Pedagogy. 2020; 1 (46): 89-91. (In Russ.)
10. Povarenkov Yu.P., Subbotina R.A. Correction of the «victim» attitude among students of a medical university in a situation of educational and professional adaptation. Yaroslavl Pedagogical Bulletin. 2019; 4 (109): 140-7. (In Russ.) doi:10.24411/1813-145X-2019-10463.
11. Kudryavtsev M.D., Kramida I.E., Iermakov S.S., Osipov A.Yu. Development dynamic of healthy life style personality component in relatively healthy students. Physical education of students, 2016; 20 (6): 26-33. doi:10.15561/20755279.2016.0603.
12. Drogomeretsky V.V., Kopeikina E.N., Kondakov V.L., Iermakov S.S. Adaptation of ruffier's test for assessment of heart workability of students with health problems Pedagogics, Psychology, Medical-Biological Problems of Physical Training and Sports. 2017; 1: 4-10. doi:10.15561/18189172.2017.0101.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_239 ӘОЖ 378

Университеттің цифрлық экожүйесіндегі ашық білім беру тәжірибелері

[1]***ИВАНОВА Светлана Анатольевна,** магистр, оқытушы, cvetlana.iv1980@mail.ru,*
*[1]**ДОКУЧАЕВА Наталья Валентиновна,** магистр, оқытушы, dokuchaeva_natali@inbox.ru,*
*[1]**ТЛЕУМБЕТОВА Дана Бековна,** магистр, аға оқытушы, dana367@mail.ru,*
*[1]**ГОЛОВАЧЁВА Виктория Николаевна,** п.ғ.д., профессор, golovacheva_vn@mail.ru,*
*[2]**МОСАВИ Амир,** PhD, профессор, amirhosen.mosavi@stuba.sk,*
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Обуда университеті, Bécsi út 96/B, Будапешт, Мажарстан,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің мысалында жоғары білім берудің цифрлық трансформациясы аясындағы ашық білім беру тәжірибелері қарастырылады. Мақалада бірлесіп білім алуға және білім алушыға бағытталған оқыту идеяларына негізделген ашық білім беру тәжірибелері мен ашық білім беру ресурстары тұжырымдамалары ашылады. Зерттеудің мақсаты – ашық білім беру тәжірибелерін енгізу деңгейін анықтау және оларды оқыту мен оқуда қолдануға әсер ететін мотивациялық факторлар мен кедергілерді талдау. Әдістемелік негіз ашық білім беру бойынша ғылыми және нормативтік дереккөздерді шолу мен талдауды, инженерлік бағдарламалар бойынша студенттер мен оқытушылар арасында сауалнама жүргізуді және университеттің ашық білім беру бағдарламасын дамытудың басым бағыттарын анықтауды қамтиды.*

***Кілт сөздер:** ашық білім беру тәжірибелері, ашық білім беру ресурстары, білім беруді цифрландыру, жоғары білім, цифрлық трансформация, жекелендірілген оқыту.*

Кіріспе. Жоғары білім берудің цифрлық трансформациясы икемді және жекелендірілген білім беру жолдарын дамыту үшін жағдай жасауда, оның шеңберінде ашық қолжетімділікке, білім беру процесін бірлесіп құруға және студенттердің белсенді қатысуына негізделген ашық білім беру тәжірибелері (АБТ) ерекше маңызға ие болуда. Олардың дамуы білім, ғылым және мәдениет мәселелері жөніндегі Біріккен Ұлттар Ұйымының (БҒМБҰҰ) стратегиялық құжаттарымен қолдау табады, онда ашық білім беру ресурстары мен тәжірибелерін жоғары білім беру жүйесіне тұрақты даму мен инновацияның факторы ретінде интеграциялау қажеттілігі атап өтіледі [1]. Заманауи зерттеулер АБТ-ны тек оқуға қолжетімділікті кеңейту ғана емес, сонымен қатар цифрлық сауаттылықты, сыни ойлауды және студенттердің шығармашылығын, сондай-ақ инклюзивтілікті және мәдениетаралық өзара әрекеттесуді дамыту құралы ретінде қарастырады [2].

АБТ тұжырымдамасы пассивті ақпаратты алу моделінен белсенді бірлескен авторлыққа және ынтымақтастыққа ауысуды ұсынады. Бұл тәсіл желілік өзара әрекеттесудің және білімді бірлесіп жасаудың маңыздылығын атап көрсететін қазіргі заманғы педагогикалық коннективизм мен конструктивизм теорияларына сәйкес келеді [3]. Жоғары білім үшін бұл тек білімді таратушы ғана емес, сонымен қатар ашық білім беру процесінің модераторы ретінде де қызмет ететін оқытушының рөлін қайта қарастыруды білдіреді.

Сонымен қатар, ғылыми әдебиеттерде университеттердің цифрлық ортасында АБТ жүйелі түрде енгізуге арналған зерттеулер жеткіліксіз болып қала береді және оларды фрагменттелген түрде пайдалану олардың трансформациялық әлеуетін, сондай-ақ институционалдық және құқықтық кедергілерді шектейді [4; 5]. Цифрлық платформалар мен жасанды интеллект құралдарын дамыту білім алмасуға және үздіксіз кәсіби дамуға негізделген АБТ мәдениетін масштабтау және дамыту үшін мүмкіндіктер жасайды [2].

Әдістер мен материалдар. Зерттеу Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінде жүргізілді және қолданбалы сипатта болды.

Зерттеудің әдіснамалық негізі БҒМБҰҰ-

ның ашық білім беру ресурстары (АБР) және тәжірибелері (АБТ) саласындағы халықаралық бастамаларында көрініс тапқан тұжырымдамалық ережелерге негізделген, олар келесі бағыттарды қамтиды: білім беру процесіне қатысушылардың әлеуетін дамыту, қолдаушы институционалдық саясатты қалыптастыру, ашық тәжірибелердің тұрақтылығын қамтамасыз ету және халықаралық ынтымақтастықты нығайту.

Зерттеу техникалық университеттегі білім беру бағдарламаларын цифрландыруға және АБТ-ның білім беру және оқыту қызметіне интеграциялану деңгейіне бағытталған. Эмпирикалық база 60 оқытушы мен 150 студенттің сауалнама деректерінен тұрды.

Жұмыс барысында ашық білім беру тәжірибесі мәселесі бойынша қолданыстағы теориялық және эмпирикалық дереккөздерді жүйелеуге және сыни тұрғыдан түсінуге бағытталған ғылыми әдебиеттерді шолу және талдау әдісі қолданылды.

Нәтижелер мен пікірталас. Жоғары білім берудің цифрлық трансформациясы жағдайында БҒМБҰҰ «пайдалану, бейімдеу және тарату үшін еркін қолжетімді сандық материалдар» [1] деп айқындайтын ашық білім беру ресурстары тұжырымдамасы негізінде ашық білім беру тәжірибелері дамыды. Негізінен мазмұнға бағытталған АБР-дан айырмашылығы, АБТ білімді бірлесіп жасауға және білім алушының тәуелсіздігін дамытуға ықпал ететін педагогикалық тәсілдерге баса назар аударады. Г.Гесер АБТ-ны ынтымақтастыққа және кәсіби құзыреттіліктерді дамытуға бағытталған инновациялық оқу модельдерін енгізу ретінде қарастырады [6].

Қазақстанда ашық білім беру идеялары да дамып келеді, қазіргі уақытта олар қалыптасу сатысында. Б.О. Сатаевтың айтуынша, ашықтық қолжетімділіктің кеңеюімен және цифрлық білім беру платформаларын енгізумен байланысты [7]. Ашық білім беру бағдарламаларын енгізудің бір түрі – өздігінен білім алуды және студенттердің цифрлық автономиясын ілгерілететін жаппай ашық онлайн курстарды (ЖАОК) интеграциялау [8]. Заманауи зерттеулер ЖАОК-тардың оқытушы мен студент арасындағы ынтымақтастық пен бірлескен авторлықтың педагогикалық парадигмасына ауысуын көрсететін цифрлық трансформацияның негізгі элементіне айналып келе жатқанын растайды [9].

Авторлар Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің оқытушылары мен студенттері арасында сауалнама жүргізді. Сауалнаманың мақсаты – АБР қолдану туралы хабардарлық деңгейі мен жиілігін, оларды оқыту мен оқуда қолданудағы мотивациялар мен кедергілерді, университеттің цифрлық бастамаларды институционалдық қолдау деңгейін және респонденттердің халықаралық ынтымақтастыққа және АБР тұрақты дамуының перспективаларына көзқарасын анықтау болды.

Оқытушылар тобына төмендегідей бірқатар сұрақтар қойылды:

1. Сіз өз тәжірибеңізде АБР пайдаланасыз ба?

2. Сіз АБР-дің қандай түрлерін жиі қолданасыз?

3. Сізді АБР-ді пайдалануға не ынталандырады? АБР-ді пайдалану барысында қандай қиындықтарға тап боласыз?

4. Университет ашық білім беру тәжірибелерін интеграциялауды қаншалықты қолдайды (1-ден 5-ке дейінгі шкала бойынша)?

5. Сіз АБР енгізу үшін халықаралық ынтымақтастықты қаншалықты маңызды деп санайсыз?

6. Университетте АБР-дің тұрақты дамуы үшін не қажет деп ойлайсыз?

Білім алушылар тобына төмендегідей сұрақтар дайындалды:

1. Оқу барысында ашық білім беру ресурстарын пайдаландыңыз ба?

2. Оқу үдерісінде АБР-дің қай түрлері сіз үшін ең пайдалы болды?

3. Ашық бастапқы коды бар материалдарды табу және пайдалану сізге қаншалықты оңай (1-ден 5-ке дейінгі шкала бойынша)?

4. АБР пайдалануға қандай кедергілер бөгет болады?

5. АБР-ді пайдалану оқу материалын меңгеру сапасына әсер ете ме?

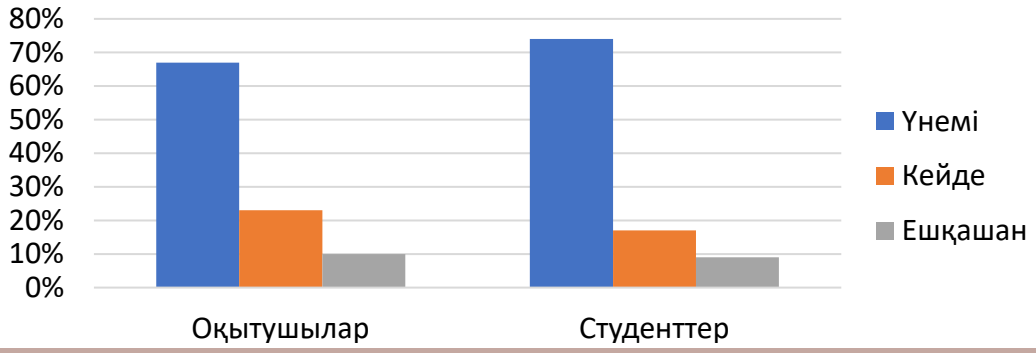
6. Цифрлық білім беру ресурстарына қолжетімділікті кеңейтудегі университеттің қолдауын қалай бағалайсыз?

7. Ашық тәжірибелерге негізделген халықаралық онлайн білім беру жобаларына немесе алмасу бағдарламаларына қатысқыңыз келе ме?

Нәтижелер көрсеткендей, АБР оқу процесіне қазірдің өзінде енгізілген, бірақ оларды пайдалану дәрежесі оқытушылар мен студенттер арасында әртүрлі (1-сурет).

1-суретте көрсетілгендей, оқытушылар да, студенттер де оқу үдерісінде ашық білім беру ресурстарын пайдалану деңгейінің жоғары екенін көрсетеді, алайда студенттердің белсенділігі біршама жоғары. Оқытушылар арасында 64% ашық білім беру ресурстарын үнемі пайдаланады, 24% оларды анда-санда қолданады, ал 12% мүлдем пайдаланбайды. Студенттер арасында тұрақты пайдаланушылардың үлесі 76%-ды құрайды, 17% ашық білім беру ресурстарына анда-санда қолданады, ал тек 7% оларды мүлдем пайдаланбайды.

Салыстырмалы талдау студенттердің тұрақты пайдалану жиілігі бойынша оқыту-



1-сурет – Оқытушылар мен студенттердің АБР пайдалану жиілігінің көрсеткіштері

шылардан 12%-ға асып түсетінін көрсетеді. Бұл айырмашылық студенттердің онлайн ресурстармен жұмыс істеуге қатысты цифрлық бейімделуінің жоғары болуымен түсіндірілуі мүмкін. Екі топта да АБР-ді пайдаланбайтындардың үлесінің төмен болуы университетте ашық білім беру мәдениетінің қалыптасып келе жатқанын және цифрлық ресурстардың (ЦР) оқу үдерісіне интеграциялану деңгейінің жоғары екенін аңғартады.

Сонымен қатар, авторлар АБР пайдаланудағы негізгі кедергілерді атап өтеді, олар қызығушылықтың болмауынан емес, институционалдық, цифрлық және заңды шектеулерден туындайды. Цифрлық дағдылардың жетіспеушілігі, уақыт шектеулері және тілдік қиындықтар оқытушылар мен студенттердің АБР-ді белсенді пайдалануына кедергі келтіреді.

Зерттеу бізге оқыту мен оқу тәжірибелерінде АБР пайдалануға әсер ететін негізгі мотивациялық факторларды анықтауға мүмкіндік берді (2-сурет).

Деректерді талдау АБР пайдаланудың негізгі мотивациясы білім беру процесінің сапасын жақсартуға ұмтылыс (52%) екенін көрсетті. Бұл оқытушылардың оқу мазмұнын заманауи және қолжетімді ресурстармен жаңартуға деген қызығушылығын аңғартады. Екінші маңызды мотивация – ғылым мен техниканың қарқынды дамуына байланысты өзекті материалдарға қолжетімділікті кеңейту (38%). Ал оқытушылардың 30%-ы білім алушылардың интерактивтілігі мен оқу үдерісіне тартылуын арттыруға ықпал ететін АБР-дің мультимедиялық мүмкіндіктерін жоғары бағалайды. Сонымен қатар, респонденттердің 29%-ы АБР-ді халықаралық тәжірибе жинау құралы ретінде қарастырады, ал 26%-ы оны білім берудегі халықаралық деңгейдің артуын және цифрлық трансформацияны көрсететін инновациялық педагогикалық шешімдер көзі ретінде қарастырады. Жалпы алғанда, анықталған мотивациялар білім беру процесін тиімдірек, заманауи және студентке бағытталған ұмтылысты көрсетеді.

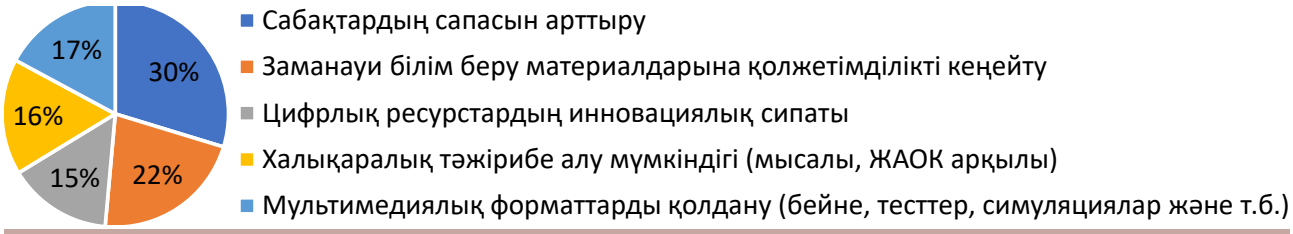
Осылайша, оқытушылардың АБР пайдалануына ынталандыру тек прагматикалық ғана емес, сонымен қатар университеттің бәсекеге қабілеттілігін арттырумен, цифрлық құзыреттіліктерді дамытумен және халықаралық ынтымақтастықты кеңейтумен байланысты стратегиялық сипатқа ие, бұл цифрлық білім беру ортасын институционалдық қолдау қажеттілігін растайды.

Келесі қадам – студенттердің АБР пайдалануына әсер ететін негізгі факторларды анықтау (3-сурет).

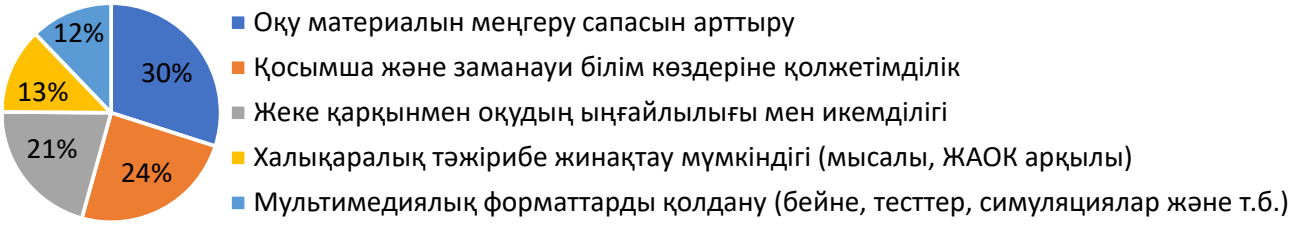
Алынған деректерге сәйкес, студенттердің жетекші мотивациясы – оқу материалын меңгеру сапасын арттыруға ұмтылыс (59%), бұл өзіндік жұмыста цифрлық ресурстардың (ЦР) жоғары тиімділігін айғақтайды. Сонымен қатар, заманауи және қосымша ақпарат көздеріне қолжетімділік те маңызды рөл атқарады (48%), бұл студенттердің дәстүрлі оқулықтар шеңберінен шығатын өзекті білімге бағдарлануын көрсетеді.

Студенттердің айтарлықтай бөлігі (41%) өздігінен оқудың ыңғайлылығы мен икемділігін академиялық іс-әрекеттерді практикалық тәжірибемен үйлестірудің маңызды факторы ретінде қарастырады, бұл жекелендірілген білім беру жолдарына артықшылық беретінін көрсетеді. ЖАОК платформаларындағы курстар мен жобаларға қатысу арқылы халықаралық тәжірибе жинау мүмкіндігі (25%) студенттердің академиялық мобильділікті, кәсіби бәсекеге қабілеттілікті және жаһандық білім беру кеңістігіне интеграцияны дамытуға бағытталғанын көрсетеді. Мультимедиялық форматтарды пайдалану (24%) сонымен қатар қосымша ынталандыру ретінде қарастырылады, бұл зерттелетін материалдың анықтығы мен қызығушылығын арттырады.

Жалпы алғанда, студенттердің мотивациясы жоғары білім берудегі цифрлық трансформация үрдістеріне сәйкес өзін-өзі



2-сурет – Оқытушылардың АБР пайдалану себептері



3-сурет – Студенттердің АБР пайдалану себептері

дамытуға, білімге қолжетімділікке және оқу икемділігіне бағытталған. Зерттеу нәтижелері студенттердің ашық білім беруге қатысуын растайды және цифрлық ресурстарды пайдалануға дайындықтың жоғары деңгейін көрсетеді. Сонымен қатар, ашық білім беру тәжірибелерін одан әрі дамыту үшін институционалдық қолдау қажет, соның ішінде оқытушыларды дамыту, АБР-ді оқу бағдарламаларына біріктіру және оларды әзірлеу мен пайдалану үшін ынталандыру тетіктерін әзірлеу. Авторлық құқық және контент лицензиялау саласындағы цифрлық сауаттылық пен құзыреттілікті дамыту да өзекті болып қала береді.

Зерттеудің келесі кезеңі екі топтың респонденттеріне сауалнама жүргізу болды, оларға авторлар сауалнаманың сапалық бөліміне қатысты сұрақтар қойды:

1. Университеттің цифрлық трансформация деңгейін қалай бағалайсыз?

2. Ашық білім беру тәжірибесін енгізу білім беру сапасын жақсартады деп ойлайсыз ба?

3. Ашық білім беру тәжірибесін дамыту үшін қандай қадамдар қажет деп ойлайсыз?

Респонденттердің басым бөлігі (62%) университеттің цифрлық трансформация деңгейін орташа деп бағалайды, бұл цифрлық оқыту моделіне кезең-кезеңімен, алайда әлі толық аяқталмаған көшу үдерісін көрсетеді. Респонденттердің төрттен бірі (25%) бұл деңгейді жоғары деп бағалайды, оны онлайн қызметтердің, цифрлық платформалардың және қашықтықтан оқыту жүйелерінің қолжетімділігімен байланыстырады, ал 13%-ы трансформация деңгейін төмен деп бағалайды және инфрақұрылымды, қызметкерлердің цифрлық құзыреттіліктерін дамытуды қоса алғанда, жүйелі тәсілдің қажеттілігін атап өтеді.

Сонымен қатар, респонденттердің 80%-ы білім беру сапасын жақсарту үшін ашық білім беру тәжірибелерін енгізу қажеттілігімен келіседі. Оқытушылар оқу материалдарының қолжетімділігі мен өзектілігінің артқанын атап өтсе, студенттер жеке білім беру траекториясын икемді түрде құру және өздігінен оқу дағдыларын дамыту мүмкіндігін атап өтеді. Жалпы алғанда, екі топ та ашық білім беру тәжірибелерін интерактивті және білім алушыға бағытталған оқытудың тиімді құралы ретінде қабылдайды.

Респонденттердің жауаптарына сүйене отырып, университетте ашық білім беруді дамытудың бірнеше басым бағыттарын анықтауға болады, мысалы, ашық білім берудің институционалдық стратегиясын құру, оқытушылар құрамының біліктілігін арттыру, семинарларға, вебинарларға және тренингтерге қатысу, цифрлық инфрақұрылымды дамыту, халықаралық ынтымақтастықты, соның ішінде шетелдік университеттермен серіктестікті нығайту, бірлескен курстар және ашық материалдармен алмасу.

Қорытынды. Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінде жүргізілген зерттеу жоғары білім берудің цифрлық трансформациясы аясында ашық білім беру тәжірибелерін енгізудің ерекшеліктері мен перспективаларын анықтады. Сауалнама нәтижелері оқытушылар мен

студенттердің АБР пайдалануға деген жоғары деңгейдегі қатысуы мен оң көзқарасын көрсетті. Эмпирикалық деректер оқытушыларды негізінен оқыту сапасының жақсаруы, тиісті материалдарға қолжетімділік және мультимедиялық форматтарды пайдалану ынталандыратынын, ал студенттер икемділікті, жекелендірілген оқытуды және халықаралық білім беру мүмкіндіктерін бағалайтынын көрсетті. Дегенмен, цифрлық құзыреттіліктердің жетіспеушілігімен, шектеулі институционалдық қолдаумен және цифрлық ресурстармен жұмыс істеуге уақыттың жетіспеушілігімен байланысты қиындықтар да анықталды.

Зерттеу ашық цифрлық ортада білімді бірлесіп жасау мен таратуға бағытталған педагогикалық тәсілдер жиынтығы ретінде АБТ-ны түсінуді нақтылайды және олардың икемді және халықаралық білім беру кеңістігін қалыптастырудағы рөлін атап көрсетеді. Жұмыстың практикалық маңыздылығы ашық білім беруді үзік-үзік қолданудан тұрақты пайдалануға көшуге бағытталған АБТ-ның институционалдық стратегиясын қалыптастырудың негізгі бағыттарын айқындаумен сипатталады.

Осылайша, ашық білім беру тәжірибелері елеулі әлеуетке ие және жоғары оқу орнының білім беру экожүйесін жаңғыртудың, оны цифрлық дәуір талаптарына бейімдеудің тиімді құралы ретінде қарастырылуы мүмкін. Бұл, өз кезегінде, институционалдық және нормативтік деңгейлерде жүйелі қолдауды талап етеді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. UNESCO. (2019). Recommendation on Open Educational Resources (OER). Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Retrieved from https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370936
2. OECD. (2020). Digital education outlook: Pushing the frontiers with AI, blockchain and robots. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/92c2bb0f–en
3. Siemens, G. (2017). Connectivism: A learning theory for the digital age. Retrieved from https://pressbooks.pub/lidtfoundations/chapter/connectivism–a–learning–theory–for–the-digital–age
4. Wiley, D., & Hilton, J. (2018). Defining OER-enabled pedagogy. The International Review of Research in Open and Distributed Learning, 19 (4). https://doi.org/10.19173/irrodl.v19i4.3601
5. Inamorato dos Santos, A., Punie, Y., & Castaño Muñoz, J. (2019). Practical guidelines on open education for academics: OpenEdu Framework. Luxembourg: Publications Office of the European Union. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC115663
6. Geser G. Open Educational Practices and Resources: OLCOS Roadmap 2012. – Salzburg: EduMedia Group, 2007. – 145 p.
7. Сатаев, Б. О. Открытое образование как новый тренд в Казахстане [Электронный ресурс] // CyberLeninka. – 2019. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/otkrytoe-obrazovanie-kak-novyy-trend-v-kazahstane
8. Докучаева Н. В., Иванова С. А., Тлеумбетова Д. Б. Үздіксіз білім беру контексіндегі жаппай ашық онлайн курстар мәселесі// Вестник Карагандинского университета. Серия «Педагогика». – 2025. – Т. 30, № 1 (117). – С. 116-123.
9. Dokuchayeva, N., Ivanova, S., Azimbayeva, Z., Ten, A., & Baimamyrov, S. (2024). Integration of Open Educational Practices in the Digital Transformation of Higher Education: Case of Kazakhstan. Journal of Educational and Social Research, 14 (4), 85-97.

Открытые образовательные практики в цифровой экосистеме вуза

[1]*ИВАНОВА Светлана Анатольевна, *магистр, преподаватель, cvetlana.iv1980@mail.ru,*
[1]ДОКУЧАЕВА Наталья Валентиновна, *магистр, преподаватель, dokuchaeva_natali@inbox.ru,*
[1]ТЛЕУМБЕТОВА Дана Бековна, *магистр, старший преподаватель, dana367@mail.ru,*
[1]ГОЛОВАЧЁВА Виктория Николаевна, *д.п.н., профессор, golovacheva_vn@mail.ru,*
[2]МОСАВИ Амир, *PhD, профессор, amirhosen.mosavi@stuba.sk,*
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]Обуда университет, Bécsi út 96/B, Будапешт, Венгрия,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Статья посвящена исследованию открытых образовательных практик в условиях цифровой трансформации высшей школы на примере Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова. Раскрываются понятия открытых образовательных практик и открытых образовательных ресурсов, базирующихся на идеях совместного получения знаний и ориентации на обучающегося. Цель исследования – определение уровня внедрения открытых образовательных практик, анализ мотивационных факторов и барьеров, влияющих на их применение в преподавательской и учебной деятельности. Методологическая основа включает обзор и анализ научных и нормативных источников по проблеме открытого образования, анкетирование преподавателей и студентов инженерных направлений, а также определение приоритетных направлений для развития ООП вуза.*

Ключевые слова: *открытые образовательные практики, открытые образовательные ресурсы, цифровизация образования, высшее образование, цифровая трансформация, персонализированное обучение.*

Open Educational Practices in the University's Digital Ecosystem

[1]*IVANOVA Svetlana, *Master's Degree, Lecturer, cvetlana.iv1980@mail.ru,*
[1]DOKUCHAEVA Natalya, *Master's Degree, Lecturer, dokuchaeva_natali@inbox.ru,*
[1]TLEUMBETOVA Dana, *Master's Degree, Senior Lecturer, dana367@mail.ru,*
[1]GOLOVACHYOVA Viktoriya, *Dr. of Ped. Sc., Professor, golovacheva_vn@mail.ru,*
[2]MOSAVI Amir, *PhD, Professor, amirhosen.mosavi@stuba.sk,*
[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Obuda University, Bécsi út 96/B, Budapest, Hungary,
**corresponding author.*

Abstract. *The article is devoted to the study of open educational practices in the context of the digital transformation of higher education, using the case of Abylkas Saginov Karaganda Technical University. The paper explores the concepts of open educational practices and open educational resources, which are grounded in the ideas of collaborative knowledge creation and a learner-centered approach. The purpose of the study is to determine the level of implementation of open educational practices, and to analyze the motivational factors and barriers influencing their use in teaching and learning activities. The methodological framework includes a review and analysis of scientific and regulatory sources on the topic of open education, a survey of engineering faculty and students, as well as the identification of priority areas for the development of OEP at the university.*

Keywords: *open educational practices, open educational resources, education digitalization, higher education, digital transformation, personalized learning.*

REFERENCES

1. UNESCO. (2019). Recommendation on Open Educational Resources (OER). Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Retrieved from https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370936
2. OECD. (2020). Digital education outlook: Pushing the frontiers with AI, blockchain and robots. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/92c2bb0f–en
3. Siemens, G. (2017). Connectivism: A learning theory for the digital age. Retrieved from https://pressbooks.pub/lidtfoundations/chapter/connectivism-a-learning-theory-for-the-digital-age
4. Wiley, D., & Hilton, J. (2018). Defining OER enabled pedagogy. The International Review of Research in Open and Distributed Learning, 19 (4). https://doi.org/10.19173/irrodl.v19i4.3601
5. Inamorato dos Santos, A., Punie, Y., & Castaño Muñoz, J. (2019). Practical guidelines on open education for academics: OpenEdu Framework. Luxembourg: Publications Office of the European Union. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC115663
6. Geser, G. Open Educational Practices and Resources: OLCOS Roadmap 2012. – Salzburg: EduMedia Group, 2007. – 145 p.
7. Sataev, B.O. Otkrytoe obrazovanie kak novyy trend v Kazakhstane [Elektronnyy resurs] // CyberLeninka. – 2019. – Rezhim dostupa: https://cyberleninka.ru/article/n/otkrytoe-obrazovanie-kak-novyy-trend-v-kazahstane
8. Dokuchaeva, N.V., Ivanova, S.A., Tleumbetova, D.B. Üzdiksiz bilim beru kontekstindegi jappay ashyq onlayn kurs tar meseleleri // Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya «Pedagogika». – 2025. – T. 30, № 1 (117). – Pp. 116-123.
9. Dokuchayeva, N., Ivanova, S., Azimbayeva, Z., Ten, A., & Baimamyrov, S. (2024). Integration of Open Educational Practices in the Digital Transformation of Higher Education: Case of Kazakhstan. Journal of Educational and Social Research, 14 (4), 85-97.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_246 UDC 378.4:338.22(574)

Entrepreneurial University at XXI Century: Conception, Meaning, and Perspective of Development

[1]*TLEUGABULOVA Kair, Master's Degree, Senior Lecturer, kair_st@mail.ru,
[2]NURLIGENOVA Zauresh, Master's Degree, Senior Lecturer, sauresch_nur@mail.ru,
[1]Karaganda Academy of MIA RK named after B. Beisenov, 124 Yermekov Street, Karaganda, Kazakhstan,
[2]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
*corresponding author.

Abstract. Current trends in higher education highlight the growing importance of entrepreneurial approaches within university systems. In an era defined by the knowledge economy and digital transformation, a growing number of institutions are rethinking their strategies to merge education, research, and business. This paper explores the entrepreneurial university as a distinct institutional phenomenon, analyzing its defining features, conditions for development, core functions, and broader role in the socio-economic advancement of a country. The objectives of this paper are: to analyze the conceptual foundations and global models of entrepreneurial universities; to develop recommendations for their further advancement in Kazakhstan. Both objectives are consistently addressed in the sections of the article. Special attention is paid to the relevance and applicability of this model in the context of Kazakhstan's educational system. The article offers an in-depth discussion of the structural transformation of traditional universities into entrepreneurial entities – an evolution driven by the demands of the modern world. This transformation includes curriculum redesign, the adoption of innovative technologies, and increased engagement with the private sector. The paper also explores the specific drivers and challenges facing Kazakhstani universities as they move toward this entrepreneurial paradigm.

Keywords: education, higher school, model of university, entrepreneurial university, student, professor, commercialization of knowledge, academic entrepreneurial, innovative economy, digitalization, globalization, transfer of technology, implement development, Republic of Kazakhstan.

Introduction

The modern era, marked by globalization, digitalization, and technological acceleration demands a fundamental rethinking of the traditional role of universities. In the 21st century, institutions of higher learning are no longer confined to training professionals and conducting research. Instead, they are becoming active agents in socio-economic development. This shift has given rise to the concept of the entrepreneurial university: an institution that integrates education, research, and innovation-driven enterprise into a unified mission. Initially conceptualized by scholars such as Burton Clark [1], Henry Etzkowitz, and Loet Leidesdorff [2], the entrepreneurial university represents a new academic archetype: one that actively participates in knowledge commercialization, start-up development, and the building of innovation ecosystems. Modern universities are increasingly embedded within complex networks involving business, government, and society, moving away from the traditional model of isolated knowledge repositories.

The objectives of this study are clearly formulated as follows: to analyze the concept, models, and global practices of entrepreneurial universities; to propose recommendations for the further development of such universities in Kazakhstan. These objectives determine the structure and logic of the article.

The relevance of this research lies in both global trends in higher education and Kazakhstan's national development priorities. A prominent example is the National Project «Tech-

nological Breakthrough through Digitalization, Science, and Innovation», approved by the Government of the Republic of Kazakhstan on October 12, 2021 (Resolution No. 727) [3]. This policy document underscores the importance of fostering technological growth through the advancement of science, digital competencies, and innovation infrastructure. These strategic goals align closely with the functions of entrepreneurial universities, which aim to harmonize academic research, education, and commercialization within a single institutional framework. This alignment demonstrates the relevance of the entrepreneurial university model for achieving the objectives of national innovation policy and technological modernization in Kazakhstan. In addition, the State Program «Digital Kazakhstan» [4] emphasizes the priority of digitalization for economic growth, improving the quality of human capital, and stimulating innovation across all sectors. Within this framework, entrepreneurial universities serve as mediators between strategic goals of digital transformation and their practical implementation. Owing to their flexibility, autonomy, and focus on applied results, such universities train specialists in artificial intelligence, Big Data, robotics, cybersecurity, and other high-tech fields. They also function as centers for innovation generation, start-up acceleration, and the development of scientific laboratories and IT clusters. Therefore, the entrepreneurial university becomes a structure-forming element of the knowledge-based economy, positioned at the intersection of education, science, business, and state policy. Its role extends far beyond classical academia, transforming it into a cornerstone of the national innovation and digital ecosystem. Thus, the goal of this article is twofold: to provide a comprehensive analysis of the entrepreneurial university as a phenomenon of the knowledge society; to formulate practical recommendations for strengthening the entrepreneurial potential of Kazakhstan universities.

Goal of current research is complex researching of entrepreneurial university conception as a key institute of modern knowledge society, also in analyze of its importance and perspective of development in XXI century. Another goal of research is theoretical justification and practical analyze of conception of entrepreneurial university, finding its role in innovative development Republic of Kazakhstan, also in creating of recommendations by rising of entrepreneurial potential of domestic universities.

Hence, looking on entrepreneurial university as on active part of innovative ecosystem opening new perspective to implement the role of higher education in socio-economy development of Kazakhstan and asks for further science research and practical implement of founded approaches.

Research methods

This study uses an integrated methodological approach, combining various research methods. The choice of methods is driven by the need for a deep and thorough analysis of the entrepreneurial university phenomenon within the context of the transformation of the modern educational paradigm. To substantiate the theoretical framework and conceptual apparatus, the work draws on the research of both domestic and international scholars in the fields of higher education, innovative economy, and university entrepreneurship, as well as strategic policy documents in the field of science and higher education of the Republic of Kazakhstan.

A comparative analysis was used to identify common and distinctive features of entrepreneurial university models across different countries. Parameters such as organizational structure, modes of interaction with business, sources of funding, and the role of incubators and technology parks were compared. The case study method was applied to conduct an in-depth analysis of the development practices of entrepreneurial universities, focusing on knowledge transfer mechanisms, startup creation, and engagement with industry. Content analysis was used to examine university strategies and public reports reflecting their innovation and entrepreneurial activities, revenue structure, and the nature of external partnerships.

Furthermore, a SWOT analysis was conducted not as a formal enumeration, but as a strategic analytical tool providing a holistic understanding of the internal and external factors influencing the transformation of traditional universities into entrepreneurial ones. This approach allowed the identification of key institutional strengths, potential barriers, and growth opportunities specific to Kazakhstan's higher education sector. The combined application of these methods enabled a high degree of reliability in the findings and ensured a comprehensive perspective on the issue.

Scientist results

The 21st century has witnessed a profound transformation in the role of universities within the socio-economic systems of modern societies. If previously universities were primarily perceived as centers of education and research, today they are positioned as active agents of innovation and economic development. This transformation reflects the shift from an industrial to a knowledge-based economy, where key resources are not material assets but information, ideas, intellectual capital,

and innovation capacity.

Within this paradigm, the concept of the entrepreneurial university gains particular significance – an educational and research institution oriented toward the commercialization of scientific research, support of start-ups, development of entrepreneurial thinking, and active integration into innovation ecosystems. This model serves as both an instrument of modernization and a mechanism for sustainable socio-economic growth.

The idea of entrepreneurial university started to form in 1980-1990s in west side countries, when universities started an active fight for independence, expand zone of funding and rising practical coast of their own scientist researches. One of the most popular theoretical justification of this process is the conception «triple helix» by G. Ickovich in his work «Triple helix. Universities-enterprises-state. Innovation in action» [5], which looks on university, state structures and business as on close chains of united innovative system.

For the first time the conception of «entrepreneurial university» in science has invited by B. Clark back in 1998. By his definition, such university actively cultivates entrepreneurial spirit and innovation, developing win-win type relationship with business. It allows effectively transmit knowledge and technology, rising concurrence-able of university and creating abilities for its independent development [6, 6].

Professor Y. Vissema from Delft technical university, by studying evolution of higher school, marked key factors, which conditioned transmit from traditional model of university to entrepreneurial. Among them – shorting state funding of scientist research and developments, which makes the universities to find new ways of funding through the partnership with innovative companies. Also a big role played by developing of open innovations, transforming of scientist working, transferring to interdisciplinary research and changing of traditional education to more exclusive and specialized educational programs [7, 296-203].

For today the researchers, who working on problems of entrepreneurial university haven't reached united opinion on definition of the concept itself. Under that concept is understands university, which makes a research by order as additional way for funding; the university, that using innovative methods of education, which helps on developing of creative and entrepreneurial mind; university building the system of open innovation and soft dialog with enterprises. Authors has really different opinions on their own interpretation of the concept, usually describing only essential characteristics of this phenomenon, outside and inside institutional forms, which helps to develop the university of entrepreneurial type [8, 111]. In own strategy transformation of higher education into the model of entrepreneurial type G. Konstantinov and S. Filonovich in their research «What entrepreneurial university is?» offer to «get through restrictions in all three spheres, generating of knowledge, teaching and transformation knowledge into practice – by initiating of new types of activity, transformation of inside environs and modification of relations with outside environs» [9, 55].

At this time marked different models of entrepreneurial university. American model (MIT, Stanford, Harvard) which known by inviting of private funding, creating university hubs and incubators, also with developed venture infrastructure. Europe model (Cambridge, ETH Zurich, TU Munich), on its line, made it choice to state help for university start-ups and innovative clusters, with an accent on multidisciplinary researches and development of entrepreneurial education through master programs and research centres. Asian model (Singapore National University, Xinhua University) which marking key role of state in development of such universities, through creating of national programs by supporting of innovation and using state stimulus for commercialization of scientist results.

In addition to descriptive presentation, the article applies SWOT analysis, which makes it possible to systematize the strengths, weaknesses, opportunities, and threats of entrepreneurial universities in Kazakhstan. This analytical approach ensures originality of the results, going beyond mere listing.

In Kazakhstan in conditions of modern development of higher education, clearly looking trend to form entrepreneurial universities, which will be orientated on integration educational, science and innovative activity. Also universities are getting centres not only qualified specialist, but generators of new knowledge, start-ups and technical solutions, which is helping to develop national innovative economy.

For today, Nazarbayev University actively implement conception of entrepreneurial university, by using at the same time academy researches with practical commercialization and innovations. Through the strategy, the university is planning to get into 20% best research universities of the world before 2030. For this goal is creating powerful innovative infrastructure: Astana Business Campus – scientistic park, which unites start-ups, research laboratories, business-incubators and techno parks. Here is getting the services by technical incubation, commercialization of scientistic works and support for start-ups on their entire path

of development.

Al-Farabi Kazakh National University implement model «University 4.0», by integrating education, science and innovation. By project «Al-Farabi University Smart City», university implements digital technologies of administration for campus and educational process, including cloud services and Big Data. Centre of entrepreneurial and innovation by KazNU supports students and professors by creating their own start-ups, including business consultations by business-management and intelligent property. University also have Sciatic-educational and innovative cluster, which helps for commercialization of scientist works and creating small innovative enterprises. In 2023 by support of Tech Garden at KazNU was created Centre of engineering competitions in sphere of industry robot-tech, shown as model fabric Industry 4.0, orientated on start-up development in sphere of robot development [10].

One of the first universities who openly accepted model of entrepreneurial university is Almaty Management University. That university developing its own business-incubator, accelerator of start-ups and actively calling residents of industry into educational process. One of key ways of AlmaU is support of socio-entrepreneurial activity, development of educational programs in sphere of sustainable business and start-ups, directed on solving social important problems. By opinion of president Almaty Management University, dr. in business administration Asylbek Kozhakhmed, forward elements our economy are tree united blocks: educational institutions, entrepreneurial sector and state structure. Their harmonious unity stimulates implementation of forward technology and helps economy raise – that is the current meaning of what «triple helix» concept is. In foreign countries for support development of industry fully using scientist potential of universities. Students, professors and stuff of universities often take their role as initiators of new businesses, by participation in creating of industries and companies. Graduators, who started their path in business, continue to make a connection with their alma maters, helping their development and implementation. Ultimately, it lets universities to bring additional resources, which invest in first order into scientist researches [11]. Karaganda Technical University orientated on preparing of engineering stuff and development of science-technical projects. The university cooperates with industrial enterprises of the region, participates in development of innovative technologies and impartment of them into production. KTU also develops entrepreneurial competitions of students through participation at start-up projects and science-research projects.

Analyze of situation in Kazakhstan shows, that some of universities already implement elements of entrepreneurial model. By the way were founded system obstacles: limited academic autonomy of universities, not good enough support of innovative activity on first stages, weak venture culture, also insufficient integration of universities into international net of innovations. That conclusions correlate with global trends of development entrepreneurial higher school, marks need of further reforming.

The analysis of this data was facilitated by a SWOT analysis, which was used as a strategic tool to assess the current state and development potential of entrepreneurial universities in Kazakhstan. This analytical approach allows for a comprehensive assessment of the internal and external factors influencing the transformation of higher education institutions into entrepreneurial ecosystems.

Strengths:

• growing government support for innovation and technology transfer at universities;

• availability of highly qualified faculty with strong research potential;

• growing number of partnerships between universities, industry, and government agencies;

• availability of innovative infrastructure, such as technology parks and business incubators, at leading universities.

Weaknesses:

• insufficient commercialization of research results and weak engagement with the private sector;

• limited managerial autonomy of universities and dependence on government funding;

• lack of practical entrepreneurial competencies among students and faculty;

• fragmentation of innovation initiatives and weak coordination between educational institutions.

Opportunities:

• implementation of national programs such as «Digital Kazakhstan» and «University 4.0» to stimulate innovation;

• development of international cooperation with global entrepreneurial universities;

• growing demand for startup education and innovation-oriented professions in the labor market;

• opportunity to attract venture capital and private investment in university projects.

Threats:

• economic instability and limited investment in the research sector;

• migration of talented young scientists and students to foreign universities;

• global competition in higher education

and technological innovation;

• bureaucratic barriers slowing the implementation of innovative initiatives.

Thus, the SWOT analysis shows that for the successful transformation of Kazakhstani universities into entrepreneurial institutions, it is necessary to strengthen internal potential (research, management, and innovation culture) and effectively use external opportunities provided by public policy, industry cooperation, and global integration processes.

Conclusion

The concept of the entrepreneurial university represents not only a new institutional model but also a holistic paradigm that redefines the relationship between science, education, innovation, and society. It embodies the transformation of higher education from a passive transmitter of knowledge into an active participant in national economic and technological progress. In this sense, the entrepreneurial university functions as a strategic integrator of academic research, innovative entrepreneurship, and social development.

Based on the conducted SWOT analysis, it is evident that the development of entrepreneurial universities in Kazakhstan has significant strengths, such as state support for innovation, a growing scientific potential of academic staff, and the creation of modern innovation infrastructure. At the same time, several internal weaknesses and external threats limit the full realization of this model – including insufficient commercialization of research results, limited university autonomy, and the slow formation of a venture culture. However, the opportunities created by national programs such as «Digital Kazakhstan» and «University 4.0», as well as increasing international cooperation, open favorable conditions for the progressive transformation of Kazakhstani universities into entrepreneurial institutions of a new generation.

Thus, the entrepreneurial university can and should become a cornerstone of Kazakhstan's transition to a knowledge-based economy. Its mission extends beyond the boundaries of traditional education – it becomes a catalyst for technological modernization, an incubator for start-ups, and a platform for sustainable social innovation. The implementation of this model requires systemic changes in university governance, increased academic autonomy, and the integration of entrepreneurial competencies into all levels of higher education.

In the broader perspective, the entrepreneurial university represents both a challenge and an opportunity for the modernization of higher education under global competition. Its success depends on maintaining a balance between academic freedom and practical applicability, between intellectual creativity and economic relevance. The experience of leading global universities demonstrates that such a balance can be achieved through the synergy of innovation, interdisciplinary research, and collaboration with industry and government.

For Kazakhstan, fostering entrepreneurial universities means strengthening the scientific and human capital of the nation and ensuring long-term competitiveness in the global educational and technological space. This transformation is not merely an institutional reform but a strategic national priority. As researchers, we conclude that the entrepreneurial university model, when adapted to Kazakhstan's socio-economic conditions, can become a powerful driver of sustainable development and a vital instrument in building a new economy of knowledge and innovation.

REFERENCES

1. Clark B.R. Creating Entrepreneurial Universities: Organizational Pathways of Transformation. N.Y.: Pergamon Press, 1998.
2. Etzkowits H., Leydesdorff L. The triple Helix of University – Industry-Government Relations, EASST Review, 1995. – № 1 (14). – 18 p.
3. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan Nacional'nyj proekt «Tekhnologicheskij ryvok za schet cifrovizacii, nauki i innovacij»: utv. 12 oktyabrya 2021 goda, № 727 URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000727 (data obrashcheniya 30.03.2025 g.).
4. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan Ob utverzhdenii Gosudarstvennoj programmy «Cifrovoj Kazahstan»: utv. 12 dekabrya 2017 goda, № 827 URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1700000827 (data obrashcheniya 30.03.2025 g.).
5. Ickovich G. Trojnaya spiral'. Universitety – predpriyatiya – gosudarstvo. Innovacii v dejstvii. – Tomsk: Izd-vo

Tomskogo gos. un-ta sistem upravleniya i radioelektroniki. – 2010. – 237 p.
6. Klark B.R. Sozdanie predprinimatel'skih universitetov: organizacionnye napravleniya transformacii / per. s angl. A. Smirnova; Gos. un-t – Vysshaya shkola ekonomiki. – Moscow: Izd. dom Gos. un-ta – Vysshej shkoly ekonomiki, 2011. – 240 p.
7. Vissema J.G. Universitet tret'ego pokoleniya: Upravlenie universitetom v perekhodnyj period: [perevod s anglijskogo]. – Moscow: Izd-vo «Olimp-Biznes», 2016. – 432.
8. Nikolaev V.K., Skvorcov A.A. (2023). Model' predprinimatel'skogo universiteta v kontekste regional'nogo razvitiya: opyt Moskovskogo politekha // Terra Economicus. – 2023. – № 21 (1). – Pp. 108-121. DOI: 10.18522/2073-6606-2023-21-1-108-121.
9. Konstantinov G.N., Filonovich S.R. «CHto takoe predprinimatel'skij universitet» // Voprosy obrazovaniya. – 2007. – № 1. – Pp. 49-62.
10. Tujmebaev ZH. Opora na innovacii // Kazahstanskaya pravda. – 2025. – 28 marta.
11. Prezident AlmaU prochel liderskuyu lekciyu v KazNU. URL: https://welcome.kaznu.kz/ru/3/news/one/28129/ (data obrashcheniya 29.04.2025 g.).

XXI ғасырдағы кәсіпкерлік университеті: тұжырымдама, маңызы және даму перспективалары

[1]*ТІЛЕУҒАБЫЛОВА Каир Самиголлақызы, *магистр, аға оқытушы, kair_st@mail.ru,*
[2]НУРЛИГЕНОВА Зауреш Нуркеновна, *магистр, аға оқытушы, sauresch_nur@mail.ru,*
[1]ҚР ІІМ Б. Бейсенов атындағы Қарағанды академиясы, Ермеков көшесі, 124, Қарағанды, Қазақстан,
[2]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Жоғары білім берудегі қазіргі заманғы үрдістер университеттердің қызметіндегі кәсіпкерлік көзқарастың өскелең маңыздылығын көрсетеді. Білім экономикасына көшу және цифрландыру жағдайында жоғары оқу орындарының көбі өз стратегияларын білім, ғылым және бизнесті ықпалдастыру жағына қарай өзгертуде. Мақалада кәсіпкерлік университет ерекше институционалдық феномен ретінде қарастырылады, сондай-ақ оның негізгі сипаттамаларына, қалыптасу жағдайларына, елдің әлеуметтік-экономикалық дамуындағы функциялары мен рөліне талдау беріледі. Отандық білім беру үшін осы үлгінің өзектілігіне ерекше назар аударылды. Мақалада университеттерді кәсіпкерлікке айналдыру егжей-тегжейлі қаралады, бұл қазіргі заманғы сын-қатерлерге заңды жауап болып табылады. Бұл трансформация білім беру бағдарламаларын өзгертуді, инновациялық технологияларды енгізуді және бизнес-сектормен белсенді өзара іс-қимылды қоса алғанда, көптеген аспектілерді қамтиды. Қазақстанның кәсіпкерлік үлгідегі жоғары оқу орындарын трансформациялаудың алғышарттары мен сын-қатерлерін талдауға ерекше назар аударылды.*

Кілт сөздер: *білім беру, жоғары мектеп, университет моделі, кәсіпкерлік университет, студент, оқытушы, білімді коммерцияландыру, академиялық кәсіпкерлік, инновациялық экономика, цифрландыру, жаһандану, технологиялар трансфері, орнықты даму, Қазақстан Республикасы.*

Предпринимательский университет в XXI веке: концепция, значение и перспективы развития

[1]*ТЛЕУГАБЫЛОВА Каир Самигулловна, *магистр, старший преподаватель, kair_st@mail.ru,*
[2]НУРЛИГЕНОВА Зауреш Нуркеновна, *магистр, старший преподаватель, sauresch_nur@mail.ru,*

[1]Карагандинская академия МВД РК имени Б. Бейсенова, ул. Ермекова, 124, Караганда, Казахстан,
[2]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Современные тенденции в высшем образовании указывают на возрастающую значимость предпринимательского подхода в деятельности университетов. В условиях перехода к экономике знаний и цифровизации все большее число высших учебных заведений трансформируют свои стратегии в сторону интеграции образования, науки и бизнеса. В статье рассматривается предпринимательский университет как особый институциональный феномен, а также дается анализ его ключевых характеристик, условий становления, функции и роли в социально-экономическом развитии страны. Отдельное внимание уделено актуальности этой модели для отечественного образования. В статье детально рассматривается трансформация университетов в предпринимательские, что становится закономерным ответом на современные вызовы времени. Эта трансформация охватывает множество аспектов, включая изменение образовательных программ, внедрение инновационных технологий и активное взаимодействие с бизнес-сектором. Особое внимание уделено анализу предпосылок и вызовов трансформации высших учебных заведений Казахстана в направлении предпринимательского типа.*

Ключевые слова: *образование, высшая школа, модель университета, предпринимательский университет, студент, преподаватель, коммерциализация знаний, академическое предпринимательство, инновационная экономика, цифровизация, глобализация, трансфер технологий, устойчивое развитие, Республика Казахстан.*

REFERENCES

1. Clark B.R. Creating Entrepreneurial Universities: Organizational Pathways of Transformation. N.Y.: Pergamon Press, 1998.
2. Etzkowits H., Leydesdorff L. The triple Helix of University – Industry-Government Relations, EASST Review, 1995. – № 1 (14). – 18 p.
3. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan Nacional'nyj proekt «Tekhnologicheskij ryvok za schet cifrovizacii, nauki i innovacij»: utv. 12 oktyabrya 2021 goda, № 727 URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000727 (data obrashcheniya 30.03.2025 g.).
4. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan Ob utverzhdenii Gosudarstvennoj programmy «Cifrovoj Kazahstan»: utv. 12 dekabrya 2017 goda, № 827 URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1700000827 (data obrashcheniya 30.03.2025 g.).
5. Ickovich G. Trojnaya spiral'. Universitety – predpriyatiya – gosudarstvo. Innovacii v dejstvii. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo gos. un-ta sistem upravleniya i radioelektroniki. – 2010. – 237 p.
6. Klark B.R. Sozdanie predprinimatel'skih universitetov: organizacionnye napravleniya transformacii / per. s angl. A. Smirnova; Gos. un-t – Vysshaya shkola ekonomiki. – Moscow: Izd. dom Gos. un-ta – Vysshej shkoly ekonomiki, 2011. – 240 p.
7. Vissema J.G. Universitet tret'ego pokoleniya: Upravlenie universitetom v perekhodnyj period: [perevod s anglijskogo]. – Moscow: Izd-vo «Olimp-Biznes», 2016. – 432.
8. Nikolaev V.K., Skvorcov A.A. (2023). Model' predprinimatel'skogo universiteta v kontekste regional'nogo razvitiya: opyt Moskovskogo politekha // Terra Economicus. – 2023. – № 21 (1). – Pp. 108-121. DOI: 10.18522/2073-6606-2023-21-1-108-121.
9. Konstantinov G.N., Filonovich S.R. «CHto takoe predprinimatel'skij universitet» // Voprosy obrazovaniya. – 2007. – № 1. – Pp. 49-62.
10. Tujmebaev ZH. Opora na innovacii // Kazahstanskaya pravda. – 2025. – 28 marta.
11. Prezident AlmaU prochel liderskuyu lekciyu v KazNU. URL: https://welcome.kaznu.kz/ru/3/news/one/28129/ (data obrashcheniya 29.04.2025 g.).

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_253 UDC 378.147

Demanded Competencies of Graduates: Challenges and Prospects for Regional Development (Based on Analysis Using MAXQDA)

[1]**SAGINTAEVA Saule,** *Dr. of Econ. Sc., Rector, sagintayeva@mail.ru,*
[2]**LAMBEKOVA Aigerim,** *PhD, Associate Professor, aygerim.lambekova@mail.ru,*
[2]**SYZDYKOVA Elmira,** *Cand. of Econ. Sc., Professor elmira5as@mail.ru,*
[2]***SHAKENOVA Gulnazym,** *Doctoral Student, guli_w.a@mail.ru,*
[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]NPLC «Karaganda National Research University named after Academician E.A. Buketov», 28 University Street, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The relevance of this study stems from the need to minimize employers' costs associated with the professional adaptation of young specialists – university graduates. In the context of rapid technological development and changes in the labor market, businesses expect graduates to have not only specialized training but also the ability to quickly integrate into work processes. In practice, however, employers are faced with a shortage of skills among new employees, such as business communication, self-organization, and the practical application of knowledge, which increases the cost of training them for their positions. This study analyzes the expectations of regional employers in the Karaganda region regarding the key professional and universal competencies of graduates. The aim is to identify the content of business personnel requirements and determine the main difficulties that arise in ensuring the correspondence between academic training and the requirements of the modern economy. The analysis was conducted using a qualitative content analysis tool – MAXQDA software – which made it possible to systematize and visualize data on key competency categories. The paper also presents a SWOT analysis of the regional training system, based on which practical recommendations are made for adapting educational programs to the demands of the economy.*

Keywords: *university graduates, employers, professional competencies, labor market, regional development, Karaganda region, soft skills, MAXQDA.*

Introduction. The modern labor market increasingly demands that university graduates not only have a solid professional foundation, but also a wide range of universal skills that enable them to adapt quickly to a dynamic economy. These competencies include critical thinking, digital literacy, effective communication, teamwork, and flexibility in an unstable work environment. The rapid pace of technological and organizational change reinforces the need to review the content of educational programs to reflect the current expectations of employers.

This problem is particularly acute at the regional level. The Karaganda region, as one of the largest industrial centers in Kazakhstan, is characterized by high demand for skilled personnel. Despite the existence of a developed higher education system, business representatives in the region are increasingly noting a lack of applied skills and the ability to work independently among young professionals. There is also a limited mastery of soft skills, which complicates the process of their integration into work teams and leads to additional costs for adaptation.

In these conditions, it is becoming increasingly important to analyze the competence requirements of employers and assess the extent to which graduates meet these expectations. Solving this problem is particularly important for the sustainable socio-economic development of the region, as human capital is becoming a decisive resource in the new economy.

Recent studies have examined employ-

ers' views on the competencies of graduates in different regions. The main findings show that employers value a combination of soft and hard skills, with a particular focus on personal qualities and transferable skills. Highly valued competencies include the ability and willingness to learn, teamwork, problem solving, communication skills, and work ethic (Pang et al., 2018; McMurray et al., 2016).

Although sustainability literacy is recognized as important for future business success, there are contradictions in employers' support for sustainability in hiring processes (Breda McCarthy & Eagle, 2021).

There are some discrepancies between teachers' and employers' perceptions of important competencies, with teachers placing greater emphasis on critical and conceptual thinking (Khoo et al., 2020).

To improve graduate employability, universities are advised to collaborate with industry in developing workplace-oriented programs and to improve curricula, pedagogy, and assessment approaches that meet employer expectations (Pang et al., 2018; Khoo et al., 2020).

A study by Poh Kiong Tee et al. (2024) in Malaysia confirms that employers increasingly require graduates to have digital competencies, especially those related to digital content creation, problem-solving, and data literacy. At the same time, as shown by the results of an analysis of 366,000 job vacancies (Soft Skills Unveiled, 2024), there is a clear gap between the expected and actual digital skills demonstrated by graduates. In particular, teamwork skills in a digital environment and the ability to quickly adapt to new platforms are deficient variables.

Pažur Aničić et al. (2022) note that in engineering and technical disciplines, graduates underestimate the importance of IT competencies, which creates professional gaps. This allows us to identify the following variables: digital literacy, digital content creation, problem-solving (digital), and collaboration tools use.

According to research by the Southern Regional Education Board (2023), employers in all regions of the United States most often point to the need for soft skills, including communication, critical thinking, teamwork, and emotional intelligence. A study by Nature (2024) conducted in the northwestern regions of the Russian Federation confirms this conclusion: soft skills form the basis for the career growth of graduates, especially in an unstable social and economic environment.

Of particular interest is the work Soft Skills Unveiled (2024), where a comprehensive analysis of job vacancies identified 15 categories of soft skills, including leadership, ethics, flexibility of thinking, and stress resistance. These variables are proposed as basic categories for coding employer texts in content analysis systems.

The studies by Dobslaw et al. (2023) and Maghsoudi (2023) focus on the analysis of hard skills in the field of computer science and IT. They emphasize that despite the emphasis of universities on theoretical training, employers expect graduates to have specific skills – from proficiency in Docker and Kubernetes to confident programming in Python and SQL.

The work 'Reconciliation of Hard and Soft Skills' (2022) offers a unified model of competencies in which hard and soft skills are considered within a single structure: cognitive, motivational, and affective. This expands the possibilities for categorical analysis.

A number of studies (e.g., Kovalev et al., 2025; CCR, 2024) emphasize the importance of hybrid competencies: a combination of subject knowledge with meta-skills such as learnability, creativity, and initiative. Kovalev and co-authors show that the presence of micro-certifications (e.g., AI-900 from Microsoft) significantly increases a graduate's chances of being hired. This confirms the trend toward skills-based hiring (Bone et al., 2023), in which employers evaluate not so much a diploma as the presence of specific, proven skills.

The OECD (2020) demonstrates that the need for competencies varies significantly depending on the industry and region. For example, engineering and technical skills are in demand in industrial regions, while digital and communication skills are in demand in developing IT clusters. Liao's (2023) research complements this by pointing to the dependence of employment levels on student participation in internships – practical training directly affects employability.

Recent studies emphasise that employers, especially at the regional level, value not only diplomas but also real proof of skills. At the same time, the combination of digital skills and flexible competencies is becoming increasingly important. For a more in-depth analysis of the alignment of graduate training with labour market requirements, it is recommended to use a set of indicators that includes professional, meta-competencies and digital skills, with mandatory consideration of industry and regional characteristics.

Research methodology

The study is based on qualitative content analysis, which was deliberately chosen because it allows for in-depth interpretation of employers' texts and identification of hidden patterns in their expectations of young professionals' competencies. This methodological ap-

proach not only captures formal requirements, but also reveals semantic emphases and contextual nuances that often remain out of sight in quantitative studies.

At the coding stage, the principle of open coding was applied, which made it possible to form a categorical matrix of competencies based on real data rather than predefined assumptions. This approach makes the results more flexible, valid and relevant to regional specifics. As a result, it was possible not only to list the most frequently mentioned skills, but also to reveal their practical significance in a professional context, which is a key advantage of the study.

Scientific results

The analysis was conducted using MAXQDA 2022 software designed for working with qualitative data. The programme allowed us to structure the array of information and perform multi-level coding aimed at building a categorical model of competencies. The study is pilot in nature, and even with a limited sample, the MAXQDA toolkit allows us to identify consistent patterns and recurring semantic blocks that reflect the key demands of employers in the region. This approach is in line with international research practice, where qualitative content analysis is used precisely to identify meaningful trends and form the basis for subsequent, more extensive research.

The empirical base consisted of two sources:

- 15 job advertisements posted on the online platforms hh.kz and gorodrabot.kz in May–June 2025. All vacancies are aimed at graduates or young professionals without significant work experience.

- 7 mini-interviews (n=7) obtained in writing from business representatives in the Karaganda region, focusing on the assessment of current personnel issues. The main question was: "In your opinion, what competencies are most often lacking in young professionals after graduating from university?" The answers were received in writing and integrated into the data array for coding.

Coding was done manually, based on preformed categories. The analysis process included parameters such as soft skills, digital skills, adaptability, self-organization, analytical thinking, and language skills. For each semantic unit, not only the frequency of mention was taken into account, but also the context in which the skill was identified – as desirable, mandatory, or lacking.

The findings are not isolated, but are confirmed by the conclusions of international studies (Pang et al., 2018; OECD, 2020; Nature, 2024), which also emphasise the key role of soft skills and digital competencies in the successful professional adaptation of graduates. The comparability of the data obtained with global trends reinforces its reliability and demonstrates that the patterns identified in the Karaganda region reflect not only regional but also global issues.

The use of content analysis made it possible to systematize employers expectations and identify stable patterns in the regional labor market.

A content analysis of job postings and interviews with employers revealed the priority skill sets in demand in the regional labor market. The greatest emphasis is placed on soft skills, including communication skills, stress resistance, and the ability to work in a team. This indicates the high importance of personal and behavioral qualities in the employment of young professionals.

Digital skills are also widely represented, especially proficiency in Excel, 1C, Google Workspace, and other application tools. This underscores the growing demand for digital literacy even in non-IT fields.

Analysis of job postings and employer interviews using the MAXQDA tool made it possible to identify stable groups of competencies, systematize employer expectations, and identify characteristic features of regional demand for graduates.

The competencies most often mentioned in vacancies and employer interviews are summarized in the table:

The results of the analysis showed that flexible skills – communication, teamwork, and initiative – are key factors in hiring young professionals.

Analytical thinking and foreign language skills (English) were mentioned less frequently, probably due to the industry-specific nature of the vacancies. Nevertheless, the presence of these competencies is often seen as an advantage and affects the competitiveness of graduates.

To illustrate this discrepancy, a competency gap model was constructed, reflecting the key points of divergence between labor market demands and the actual characteristics of graduates (Figure). The model demonstrates that in most cases, employers are faced with a predominance of theoretical knowledge and a shortage of soft and digital skills, as well as limited communication and language competencies among young professionals.

The Karaganda region is highly industrialized, with most job openings in the service, administrative, and IT sectors. This creates a complex demand for technical, digital, and communication skills simultaneously. However, as the analysis has shown, most graduates have a bias towards theoretical knowledge and

Table 1 – Codes for content analysis (MAXQDA)

Category (code)	Subcategories / key wording	Data type	Example from job postings/interviews
Soft Skills	Communication, teamwork, stress tolerance, responsibility, flexibility	Universal	"Ability to interact with customers and colleagues"
Digital Skills	Excel, PowerPoint, 1C, CRM-systems, Google Docs, Canva	Applied	"Experience with Excel, knowledge of 1C"
Adaptability	Willingness to learn, ability to navigate quickly, work under uncertainty	Behavioral	"Ability to learn new tasks quickly"
Self-organization	Punctuality, time management, autonomy, discipline	Personal	"Ability to organize work time independently"
Analytical thinking	Ability to analyze, decision making, system approach	Cognitive	"Analyzing business processes, building reports"
Language skills	Proficiency in English (Intermediate and above), business correspondence, presentations	Language	"English at least Intermediate level"
Micro-certification	Availability of certifications (AI-900, Google Analytics, Excel Advanced, etc.).	Verified	"Having a certification is an advantage"
Gap (Gap)	Indications of skills gaps, mismatch in graduate preparedness	Problem areas	"Basic communication skills are lacking"

Table 2 – Categories of competencies and their prevalence according to the results of content analysis

Category of competencies	Frequency of references (n=15 vacancies + 3 interviews)	Approximate formulations
Soft Skills	14	"ability to work in a team", "initiative", "stress resistance"
Soft Skills	14	"ability to work in a team", "initiative", "stress resistance"
Digital Skills	13	"knowledge of Excel", "knowledge of 1C", "work with PowerPoint, CRM"
Adaptability	11	"willingness to learn", "flexibility of thinking", "openness to change"
Self-organization	9	"punctuality", "responsibility", "self-discipline"
Analytical thinking	6	"ability to make decisions", "analyze tasks"

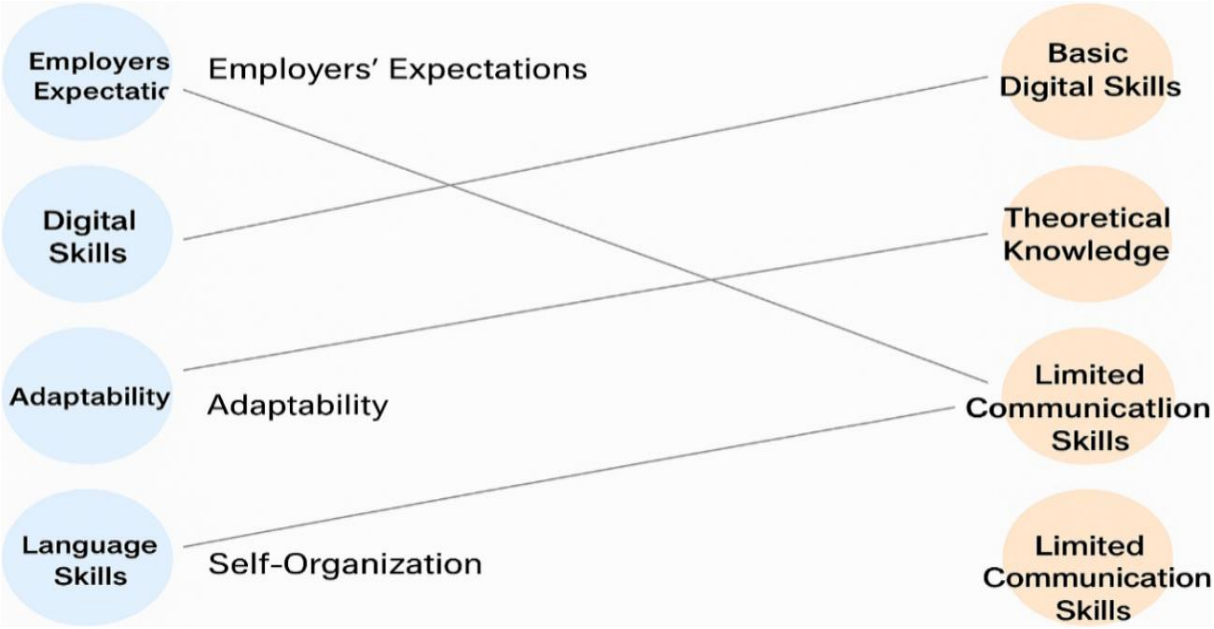
lack the skills to implement tasks in a business environment.

Let's conduct a SWOT analysis of graduate training in the context of regional development (using the Karaganda region as an example).

The higher education system of the Karaganda region benefits from technical and economic programs aligned with the regional economy and universities able to update curricula.

However, this potential is constrained by a lack of practice-oriented training, weak development of soft and digital skills, and limited use of micro-certifications, which increase the mismatch with employer expectations.

In terms of prospects, the Karaganda region can take advantage of opportunities to introduce hybrid education models, develop partnerships with the business sector, and expand digital infrastructure. If current challenges – including the outflow of qualified graduates, reduced regional appeal, and the increasing gap between curricula and labor market demands – are not addressed in time, the education system will be unable to fully unlock its potential.



Competency gap model: employers' expectations regarding graduates' skills

Table 3 – SWOT-analysis of graduates' competencies

Strengths	Weaknesses
- Presence of technical and economic directions - Presence of universities able to adapt programs	- Lack of practice-oriented training - Weak development of soft and digital skills - Lack of mass introduction of micro-certifications
Opportunities	**Threats**
- Introduction of hybrid programs and dual training - Developing partnerships with businesses - Introduction of digital platforms and soft skills trainings	- Increased outflow of graduates - Decrease in investment attractiveness of the region - Increased mismatch between the content of education and market requirements

Conclusions

The limitation of the study is the relatively small size of the empirical base (15 vacancies and 7 interviews). However, even this data set made it possible to identify consistent patterns, which is confirmed by the comparability of the results with international studies. The work carried out is considered a pilot study, laying the foundation for subsequent studies with an expanded sample, which will provide a more representative and comprehensive picture of the competency requirements of the regional labour market.

The analysis confirmed that while soft and digital skills are top priorities for employers, they remain underdeveloped among graduates, creating barriers to professional adaptation.

This gap between market expectations and the content of educational programs points to the need for closer interaction between universities and employers. One solution could be the introduction of hybrid forms of education, dual programs, business participation in course development, and wider use of micro-certifications. This will not only improve the quality of training but also make graduates more competitive in a changing economy. If such steps are implemented, positive changes can be expected not only at the university level, but also across the region as a whole. Improving the alignment between the education system and the real demands of business will strengthen the position of the Karaganda region as an industrial and intellectual center capable of retaining young talent and developing sustainably in the long term.

REFERENCES

1. Pang V., Wong M., Saleh S. Developing employability through soft skills integration: a comparative study // Journal of Education and Work. – 2018. – V. 31, № 4. – Pp. 418-433.
2. McMurray S., Dutton M., McQuaid R. Employer expectations of graduate skills: do university curriculum and pedagogy need to change? // Education + Training. – 2016. – T. 58, № 1. – Pp. 35-48.
3. Breda McCarthy, Eagle L. Sustainability literacy and graduate employability: a missing link in business education? // Australian Journal of Environmental Education. – 2021. – V. 37, № 3. – Pp. 295-309.
4. Khoo H.E., Lim E.C., Tan C.Y. Bridging the perception gap: educators and employers on graduate attributes // Higher Education Research & Development. – 2020. – V. 39, № 1. – Pp. 1-14.
5. Poh Kiong Tee, Lee N., Halim H. Digital competencies in the eyes of employers: evidence from Malaysia // Asia Pacific Education Review. – 2024. – V. 25, № 2. – Pp. 212-226.
6. Soft Skills Unveiled: A Global Analysis of Employer Requirements. – 2024. – [Electronic resource]. – Access mode: https://softskills2024.org/report (date of access: 10.03.2025).
7. Pažur Aničić K., Županić Vučina J. IT-skills and soft skills in engineering education: employer perspective // Journal of Technical Education. – 2022. – V. 10, № 1. – Pp. 45-58.
8. Reconciling Hard and Soft Skills in Higher Education: Integrative Competence Framework. – European Commission Report. – 2022. – [Electronic resource]. – Access mode: https://ec.europa.eu/higher-education/skills2022 (date of access: January 14, 2025).
9. Kovalev I., Sadykova A., Mambetova Z. Microcredentials and employability in Central Asia: evidence from Kazakhstan // Central Asian Journal of Education and Development. – 2025. – V. 3, № 1. – Pp. 88-104.
10. Liao M. Internship experience and graduate employability: the role of practical training in higher education // International Journal of Work-Integrated Learning. – 2023. – V. 24, № 1. – Pp. 34-50.

ЖОО түлектерінің сұранысқа ие құзыреттері: өңірлік дамудың сын-тегеуріндері мен мүмкіндіктері (MAXQDA бағдарламасы арқылы жүргізілген талдау негізінде)

[1]САГИНТАЕВА Сауле Саветовна, *э.ғ.д., ректор, sagintayeva@mail.ru,*
[2]ЛАМБЕКОВА Айгерім Нұрлановна, *PhD, қауымдастырылған профессор, aygerim.lambekova@mail.ru,*
[2]СЫЗДЫКОВА Эльмира Жаслановна, *э.ғ.к., профессор, elmira5as@mail.ru,*
[2]*ШАКЕНОВА Гульназым Айткеновна, *докторант, guli_w.a@mail.ru,*
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]«Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті» КеАҚ, Университет көшесі, 28, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Зерттеудің өзектілігі жоғары оқу орындарын тәмамдаған жас мамандарды кәсіби бейімдеуге жұмыс берушілер тарапынан жұмсалатын шығындарды азайту қажеттілігімен байланысты. Технологиялардың қарқынды дамуы мен еңбек нарығындағы өзгерістер жағдайында бизнес тек кәсіби даярлықпен шектелмей, түлектерден еңбек үдерісіне жедел кірісу қабілетін де талап етеді. Алайда тәжірибеде жұмыс берушілер жас мамандардың іскерлік коммуникация, өзін-өзі ұйымдастыру және білімді тәжірибеде қолдану сияқты маңызды дағдылардың жеткіліксіздігіне жиі тап болады. Бұл жағдай кадрларды қызметке бейімдеуге кететін шығындарды арттырады. Осы мақалада Қарағанды облысы жұмыс берушілерінің түлектерден күтетін кәсіби және әмбебап құзыреттері талданады. Зерттеудің мақсаты – бизнестің кадрлық сұранысының мазмұнын анықтау және академиялық даярлық пен қазіргі экономиканың талаптары арасындағы сәйкестікті қамтамасыз етудегі негізгі қиындықтарды айқындау. Эмпирикалық деректерді сапалы контент-талдау әдісі арқылы құрылымдауға және визуализациялауға мүмкіндік беретін MAXQDA бағдарламалық құралы қолданылды. Зерттеу нәтижесінде өңірлік кадрлар даярлау жүйесіне SWOT-талдау жүргізіліп, білім беру бағдарламаларын еңбек нарығының сұранысына бейімдеу бойынша практикалық ұсынымдар ұсынылды.*

Кілт сөздер: *ЖОО түлектері, жұмыс берушілер, кәсіби құзыреттер, еңбек нарығы, өңірлік даму, Қарағанды облысы, soft skills, MAXQDA.*

Востребованные компетенции выпускников: вызовы и перспективы для регионального развития (на основе анализа с использованием MAXQDA)

[1]САГИНТАЕВА Сауле Саветовна, *д.э.н., ректор, sagintayeva@mail.ru,*
[2]ЛАМБЕКОВА Айгерим Нурлановна, *PhD, ассоциированный профессор, aygerim.lambekova@mail.ru,*
[2]СЫЗДЫКОВА Эльмира Жасланова, *к.э.н, профессор, elmira5as@mail.ru,*
[2]*ШАКЕНОВА Гульназым Айткеновна, *докторант, guli_w.a@mail.ru,*
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]НАО «Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова», ул. Университетская, 28, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Актуальность исследования обусловлена необходимостью минимизации издержек работодателей, связанных с профессиональной адаптацией молодых специалистов – выпускников вузов. В условиях стремительного развития технологий и изменений на рынке труда бизнес ожидает от выпускников не только профильной подготовки, но и способности быстро включаться в рабочие процессы. На практике же работодатели сталкиваются с нехваткой у начинающих сотрудников таких навыков, как деловая коммуникация, самоорганизация и прикладное применение знаний, что увеличивает затраты на их ввод в должность. Настоящее исследование посвящено анализу ожиданий региональных работодателей Карагандинской области в отношении ключевых профессиональных и универсальных компетенций выпускников. Целью является выявление содержания кадрового запроса бизнеса и определение основных трудностей, возникающих при обеспечении соответствия между академической подготовкой и требованиями современной экономики. Анализ проводился с использованием инструмента качественного контент-анализа – программного обеспечения MAXQDA, что позволило систематизировать и визуализировать данные по ключевым категориям компетенций. В работе представлен также SWOT-анализ региональной системы подготовки кадров, по итогам которого предложены практические рекомендации по адаптации образовательных программ к запросам экономики.*

Ключевые слова: *выпускники вузов, работодатели, профессиональные компетенции, рынок труда, региональное развитие, Карагандинская область, soft skills, MAXQDA.*

REFERENCES

1. Pang V., Wong M., Saleh S. Developing employability through soft skills integration: a comparative study // Journal of Education and Work. – 2018. – V. 31, № 4. – Pp. 418-433.
2. McMurray S., Dutton M., McQuaid R. Employer expectations of graduate skills: do university curriculum and pedagogy need to change? // Education + Training. – 2016. – T. 58, № 1. – Pp. 35-48.
3. Breda McCarthy, Eagle L. Sustainability literacy and graduate employability: a missing link in business education? // Australian Journal of Environmental Education. – 2021. – V. 37, № 3. – Pp. 295-309.
4. Khoo H.E., Lim E.C., Tan C.Y. Bridging the perception gap: educators and employers on graduate attributes // Higher Education Research & Development. – 2020. – V. 39, № 1. – Pp. 1-14.
5. Poh Kiong Tee, Lee N., Halim H. Digital competencies in the eyes of employers: evidence from Malaysia // Asia Pacific Education Review. – 2024. – V. 25, № 2. – Pp. 212-226.
6. Soft Skills Unveiled: A Global Analysis of Employer Requirements. – 2024. – [Electronic resource]. – Access mode: https://softskills2024.org/report (date of access: 10.03.2025).
7. Pažur Aničić K., Županić Vučina J. IT-skills and soft skills in engineering education: employer perspective // Journal of Technical Education. – 2022. – V. 10, № 1. – Pp. 45-58.
8. Reconciling Hard and Soft Skills in Higher Education: Integrative Competence Framework. – European Commission Report. – 2022. – [Electronic resource]. – Access mode: https://ec.europa.eu/higher-education/skills2022 (date of access: January 14, 2025).
9. Kovalev I., Sadykova A., Mambetova Z. Microcredentials and employability in Central Asia: evidence from Kazakhstan // Central Asian Journal of Education and Development. – 2025. – V. 3, № 1. – Pp. 88-104.
10. Liao M. Internship experience and graduate employability: the role of practical training in higher education // International Journal of Work-Integrated Learning. – 2023. – V. 24, № 1. – Pp. 34-50.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_260 UDC 37.091.3

Ways to Develop Communicative Skills Through ICT in Teaching Mathematics

KOSSYBAYEVA Umitzhan, *Cand. of Ped. Sc., Professor, umit1980@nail.ru,*
ISKAKOV Sagindyk, *PhD, Associate Professor, isagyndyk@mail.ru,*
SYZDYKOVA Nazym, *Cand. of Phys. and Math. Sc., Associate Professor, s_nazym_1807@mail.ru,*
****BEISENOVA Danagul,*** *PhD, Associate Professor, dana_68_11@mail.ru,*
NPLC «Karaganda National Research University named after Academician E.A. Buketov», 28 University Street, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *This article explores ways to develop students' communicative skills through the use of information and communication technologies (ICT) in the process of teaching mathematics. The authors examine methods that foster active interaction between learners and teachers by effectively utilizing ICT tools such as interactive whiteboards, online platforms, educational applications, and digital resources. The study analyzes the contribution of ICT to mastering mathematical terminology, formulating reasoned arguments, accurately writing and reading symbols, and enhancing logical thinking. In addition, the effectiveness of fostering language skills through collaboration-based tasks and group projects within the learning process is highlighted. The aim of the research is to provide recommendations and present findings on enhancing students' communicative competence alongside subject knowledge by integrating modern technologies into mathematics education.*

Keywords: *learning process, ICT tools, communicative skills, teaching methods, learning outcomes.*

Introduction

The Law on Education of the Republic of Kazakhstan and the State Program for the Development of Education until 2025 ensure full access to education for every school-aged child in the country [1-2].

Today, one of the key responsibilities of a teacher is to foster universal learning activities among schoolchildren. Modern teaching is most effective when it not only imparts knowledge but also fosters interactive engagement with students, helping them identify pathways to achieve their goals.

Currently, the formation of communicative universal learning actions in the teaching of mathematical subjects is becoming an independent field of scholarly inquiry. This is essential for facilitating students' successful social integration. Addressing this issue requires a deliberate and methodical approach, supported by appropriate pedagogical methods and strategies, to make the process of developing communicative skills truly effective. The theoretical foundations of communicative universal learning actions formed at school serve as the basis for this problem.

According to R.Q. Duisembinova, the development of communicative activity in school-age children – understood as the coordination and unification of efforts aimed at achieving a common result and establishing interaction – leads to the formation of communicative competence. To achieve a certain level of communicative competence in school, students must be able to pose and solve various communicative tasks [3].

As noted by N.Zh. Zhanatbekova, communication should be understood as a socially conditioned process of transmitting and receiving information through different channels and communication tools in both interpersonal and mass communication settings. A young learner must be ready to engage in the process of communication, distinguishing between verbal and non-verbal forms and using them appropriately, since information exchange is a fundamental aspect of human life [4].

Furthermore, the relevance of this study lies in the fact that the integration of ICT into the educational process opens up new opportunities for enhancing teacher-student interaction and increasing students' engagement with

learning materials. The effective use of ICT tools fosters students' collaboration, enables them to express their mathematical thinking both orally and in writing through communicative skills, and helps develop their ability to work together in solving problems.

Research Methods

In analyzing the research problem, scientific and methodological literature was reviewed, including pedagogical sources addressing the improvement of education quality and the application of ICT capabilities. In accordance with the purpose of the article, a combination of qualitative and quantitative research methods was employed:

- literature review method – national and international scientific studies, articles, and methodological guidelines related to the development of communicative skills, the integration of ICT tools into the learning process, and the methodology of teaching mathematical subjects were analyzed;
- survey and interview method – surveys were conducted to gather opinions on the effectiveness of ICT tools and their impact on communicative skills. In-depth interviews with teachers were also carried out to explore practical experiences;
- observation method – systematic observation of students' interactions with each other and with the teacher during mathematics lessons was conducted, focusing on the use of ICT tools and their influence on student engagement;
- experimental method – within the scope of the study, experimental lessons were held, and outcomes of traditional teaching methods were compared with those involving ICT tools. Changes related to the development of communicative skills were monitored;
- data analysis and generalization method – the collected data were compiled and systematized to assess the impact of ICT tools on the development of students' communicative skills in mathematics. The results were analyzed both quantitatively and qualitatively.

The issues of using ICT in the educational process have been explored in the works of Pandeya, Y.P., Perienen, A., Courtney, M., A.B. Kabosheva, and Äsen Ä.T. [5-9].

Currently, the use of ICT in every area of education increases the relevance of developing communicative skills.

Scientific Findings

In the 2019-2020 academic year, due to the COVID-19 pandemic, the use of ICT in the educational process accelerated significantly. At present, the integration of ICT has contributed to the formation and development of digital literacy as a result of digital education. This process is part of building a digital learning environment. Therefore, the application of this process in the teaching of mathematics to enhance communicative skills has been considered.

The conducted research was carried out at Academician Y.A. Buketov Karaganda University and involved the use of ICT tools to support the development of communicative skills among students studying mathematical subjects. The following figure presents the disciplines included in the study (Table 1).

The future specialist – in this case, a mathematics teacher – is trained under the 6B01501 Mathematics educational program. The primary goal of this program is "to prepare qualified pedagogical personnel with fundamental and applied knowledge and research skills in the context of updated educational content". Therefore, the subjects presented in the table above serve this overarching goal.

In addition to these core subjects, students'

Table 1 – Mathematical Subjects

Subjects Aimedat Using ICT to Develop Communicative Skills in Mathematical Disciplines		
№	**CourseTitle**	**Credit Hours**
1	Elementary Mathematics	5
2	Methodology of Teaching Mathematics	6
3	Practicum on Solving Mathematical Problems (Algebra, Elements of Analysis)	6
4	Practicum on Solving Mathematical Problems (Geometry)	7
5	Software Tools for Solving Mathematical Problems	5
6	Fundamentals of Mathematical Literacy	6
7	Innovative Technologies in Organizing the School Learning Process	6
8	Additional Topics in Elementary Mathematics	6

professional competencies are significantly enhanced through pedagogical practice.

In general, communicative skills include listening, speaking, reading, and writing.

In the context of teaching mathematical subjects, the development of these skills is characterized as follows (Figure 1).

Among the four communicative skills presented in the table, the analysis of listening skills is particularly crucial for teaching mathematics.

In the context of mathematics education, listening enables students to grasp instructions, follow explanations, and engage meaningfully in class discussions. However, current middle school mathematics textbooks do not always fully incorporate tasks aimed at developing communicative skills.

Despite this, communicative competencies can often be identified through the symbols and icons provided in the front matter of the textbooks. Upon closer examination of these symbols, some textbooks are found to include historical content as well (Figure 2).

The "Introducing Prominent Figures" sections found in mathematics textbooks play an important role in providing valuable context for middle school students. These segments serve to familiarize students with renowned individuals in the history of mathematics, particularly

№	Skill	Description
1	Speaking Skills	1. Conveying thoughts clearly and accurately 2. Mastering mathematical language 3. Group work and idea exchange 4. Critical think in gand argumentation 5. Working with mistakes
2	Writing Skills	1. Demonstrating thinking and understanding 2. Structuring solution processes 3. Using mathematical symbols and language 4. Formulating proofs and conclusions 5. Facilitating communication between student and teacher
3	Reading Skills	1. Understanding problem conditions 2. Comprehending mathematical terminology 3. Recognizing logical connections 4. Interpreting graphs, diagrams, and tables 5. Following teacher’s instructions
4	Listening Skills	1. Accurately understanding teacher explanations 2. Learning by listening to solution methods 3. Correctly following instructions and tasks 4. Mastering mathematical language and terminology 5. Participating in classroom communication

Figure 1 – Table of Skills

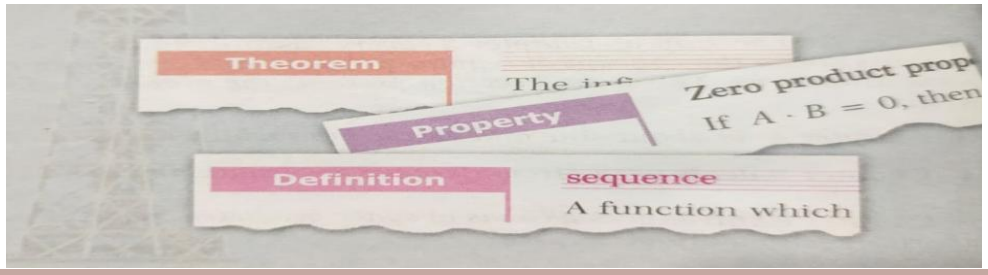


Figure 2 – Legend Symbols

those significant to Kazakhstan.

Their primary function is to consistently instill awareness and appreciation of distinguished mathematicians from Kazakhstan's academic heritage across different grade levels (Figure 3).

One of the key advantages of this textbook is its historical information section. At the beginning of each unit, it provides interesting facts and insights related to mathematics [10].

This feature not only enhances reading skills, but also significantly increases students' motivation to read and engage with the subject. By incorporating historical context, the textbook creates a richer, more meaningful learning experience that connects mathematical concepts to their real-world and historical significance.

During the teaching of geometry, the subject teacher can utilize all textbook icons and instructional indicators to support the development of communicative skills. Based on the content of each task, the teacher can independently categorize the exercises according to the relevant communicative skill: speaking, writing, reading, or listening.

Key factors to consider when doing so include: the content of the task; the length or scope of the task; the academic performance level of the class; the available technical resources; the engagement and participation level of students; the chosen teaching methodology.

The definitions, theorems, and other theoretical materials in the textbook can be effectively adapted by the teacher to target different communicative skills. These components allow educators to assess how well students have understood and mastered the theoretical content and memorized mathematical notations through their ability to articulate, write, read, and listen attentively.

Additional examples from the geometry textbook are provided to illustrate this approach. Sample problems are shown in the following figure: Figure 4. Example Problems from the Geometry Textbook.

If we take Task 11 as an example for analysis, the teacher can adapt this task to develop several communicative skills. First and foremost, it can be used to strengthen writing skills. For instance, the teacher reads the task aloud, and students are required to correctly write down the line segments, use appropriate units of measurement, accurately draw the triangle, and properly record the conditions of the problem in their notebooks.

From another perspective, this task can also be utilized to support reading skills. It can be implemented through pair or group work, where one student reads the task aloud, another writes the given conditions on the board, and the rest solve the problem individually at their desks.

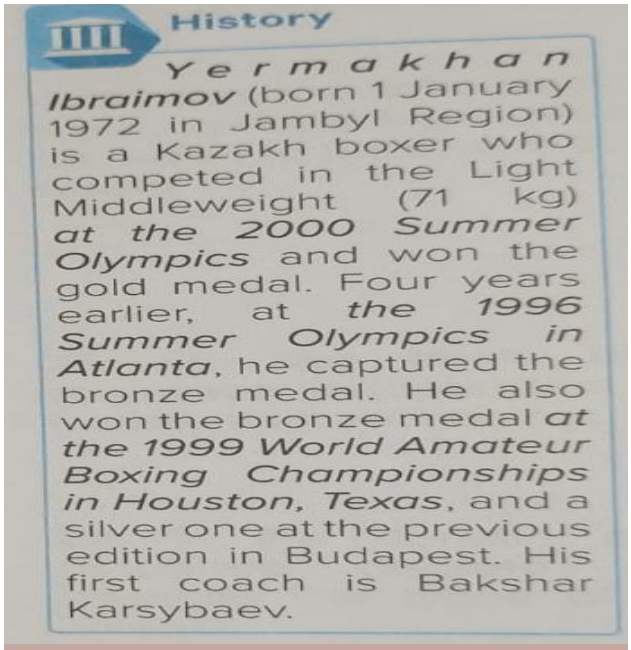


Figure 3 – Historical Information Section

This example demonstrates how the teacher, through methodical instruction and pedagogical expertise, can implement such an approach effectively in the classroom.

Similarly, tasks from any grade-level textbook can be adapted to target communicative skills.

Audio materials were developed, and methodological guidelines were created for the tasks described above. By incorporating these materials, the teacher can actively work with students on listening and writing skills, enhancing comprehension and written expression in mathematics lessons.

Audio materials for 7th-grade geometry have been uploaded to a dedicated cloud platform. The availability of these materials via a shared link allows students to practice and develop their communicative skills at any time.

Moreover, these audio resources have also been made accessible to other teachers within the school for instructional use.

At the N. Nurmakov Regional Specialized Boarding School-Lyceum in Karaganda, algebra and geometry are taught in English for grades 7 through 11. Therefore, the textbook materials analyzed in Figures 2-4 were taken from the content of the 9th-grade algebra and geometry textbooks [11-12].

During the 2023-2024 and 2024-2025 academic years, a total of 233 students enrolled in the 6B01501 Mathematics and 6B01502 Mathematics-Informatics educational programs

actively incorporated ICT tools during their teaching practicum. These students aimed to enhance learning outcomes by integrating communicative skills into lessons through mathematical content and tasks (Table 2).

Over the course of two academic years, the same survey was conducted among these students. The survey involved 3rd- and 4th-year students who participated in pedagogical practice. During the practicum, the use of ICT tools was analyzed in relation to their role in developing communicative skills.

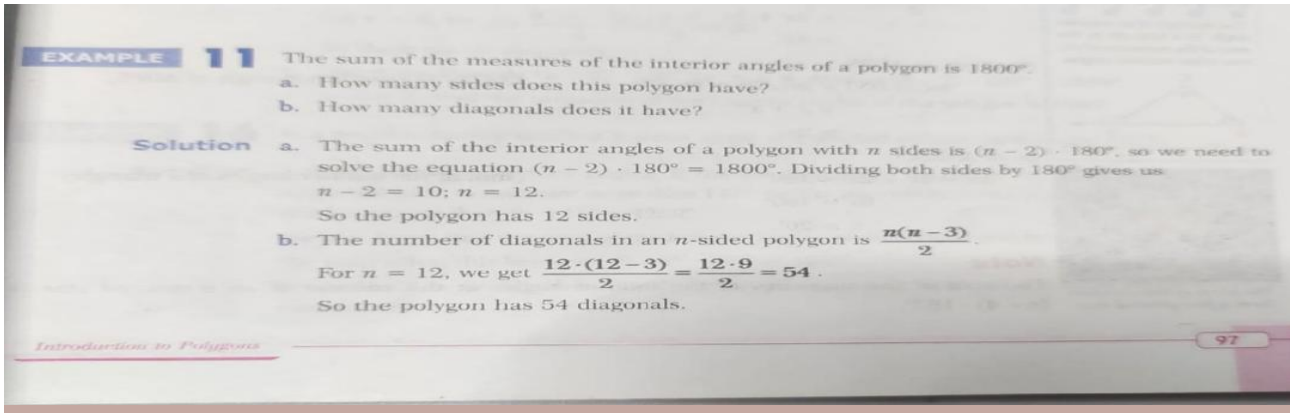
Based on the results obtained, the students prioritized the following ICT platforms to support the development of communicative skills in mathematics:

- Google Classroom – a widely used platform for organizing lessons, assigning tasks, and grading.
- Zoom – a convenient video conferencing tool for conducting online lessons.
- Microsoft Teams – a communication and teaching platform designed for both students and educators.
- Moodle – a learning management system for creating courses and uploading educational content.
- Kahoot! – an interactive platform for assessing knowledge in a game-based format.
- Quizlet – a flashcard-based platform for memorizing words and mathematical terms.
- Edmodo – a school-focused social network and educational platform.

Based on the survey results, students and practicum supervisors obtained the following insights regarding the use of ICT tools to support the development of communicative skills in mathematics among school students (Figure 5).

When considering ways to develop communicative skills during the study of mathematical subjects, it is essential to analyze the capabilities of ICT tools and select the most effective ones based on factors such as student performance level, class size, and the specific topic being taught.

As a new teaching methodology for developing and enhancing communicative skills, special attention was given to speaking, reading, writing, and listening skills in mathematics lessons through the development and effective use of audio and video materials. As a result, a methodological guide was created within the framework of one topic from the course "Methods of Teaching Mathematics" and was analyzed together with 3rd- and 4th-year students. In the 2024-2025 academic year, a master's thesis titled "Methodological Founda-



EXAMPLE 11 The sum of the measures of the interior angles of a polygon is 1800°.

a. How many sides does this polygon have?

b. How many diagonals does it have?

Solution a. The sum of the interior angles of a polygon with n sides is $(n-2)\cdot 180°$, so we need to solve the equation $(n-2)\cdot 180° = 1800°$. Dividing both sides by 180° gives us $n-2=10$; $n=12$.

So the polygon has 12 sides.

b. The number of diagonals in an n-sided polygon is $\frac{n(n-3)}{2}$.

For $n=12$, we get $\frac{12\cdot(12-3)}{2}=\frac{12\cdot 9}{2}=54$.

So the polygon has 54 diagonals.

Introduction to Polygons 97

Figure 4 – Textbook Exercises

Table 2 – Number of Students Participating in Pedagogical Practice

Educational Program	2023-2024 Academic year		2024-2025 Academic year	
	Kazakh-medium	Russian-medium	Kazakh-medium	Russian-medium
6B01501 – Mathematics	71	4	76	7
6B01502 – Mathematics-Informatics	26	4	42	3
Total	105	128		

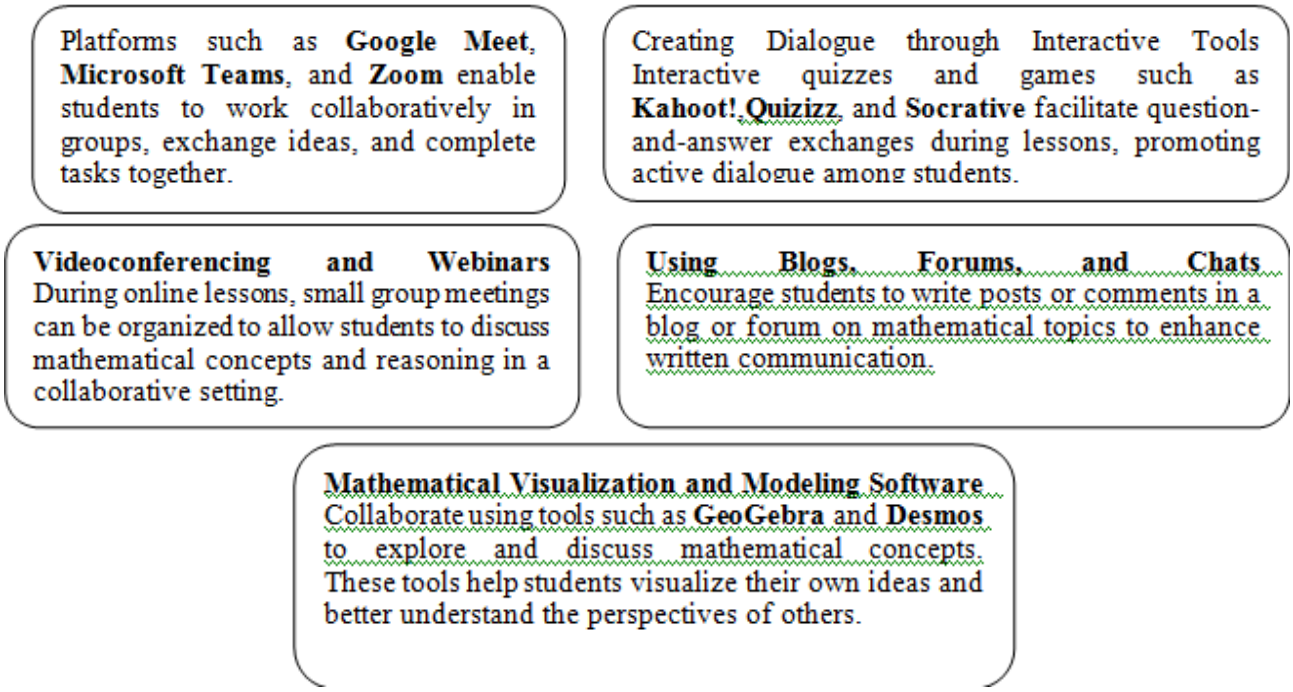


Figure 5 – Research Findings

tions for Developing Students' Communicative Skills in Secondary School Mathematics Classes (Based on Algebra Lessons for Grades 7-9)" was successfully defended under the supervision of U.A. Kosybayeva within the educational program 7M01502 – Mathematics.

For the 2025-2026 academic year, a specialized topic was incorporated into the course "Innovative Technologies in the Organization of the Learning Process at School". Additionally, a scientific article titled "Methodological Foundations for Developing Students' Communicative Skills in Secondary School Mathematics Lessons" was published in the "Üzdik IT Ustaz" National Scientific and Methodological Journal.

Conclusion

The effective use of ICT tools in teaching mathematical subjects can significantly contribute to the development of students' communicative skills. These methods create opportunities for students to express their ideas clearly and engage in meaningful classroom interactions.

Integrating ICT into mathematics instruction strengthens peer communication and increases students' interest in the subject. Through the use of information and communication technologies, the learning process becomes more interactive and efficient, supporting the development of students' creativity and critical thinking abilities.

In teaching mathematics, the use of specially developed video and audio materials, the integration of a dedicated topic into the course "Methods of Teaching Mathematics", as well as a specific topic within the course "Innovative Technologies in the Organization of the Learning Process", along with a defended master's thesis and a published scientific article, have demonstrated the scientific novelty and practical significance of the subject under consideration in developing communicative skills through ICT. In this way, ICT tools play a vital role in enhancing the quality of mathematics education and fostering students' communication culture.

REFERENCES

1. Law of the Republic of Kazakhstan on Education. Retrieved from: www.adilet.kz
2. State Program for the Development of Education in the Republic of Kazakhstan until 2025. Retrieved from: www.adilet.kz
3. Duisembinova, R.Q. (2012). Professional Pedagogy: Textbook. Almaty: Poligrafkombinat, 347 p.
4. Zhanatbekova, N.Zh. (2014). Modern Pedagogical Technologies. Almaty, 359 p.
5. Pandeya, Y.P. (2023). Use of ICT in Mathematics Classroom: Situation, Purpose, and Challenges. Siddhajyoti Interdisciplinary Journal, 4 (1), 126-137.
6. Perienen, A. (2020). Frameworks for ICT Integration in Mathematics Education – A Teacher's Perspective. Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 16(6), em1845.
7. Courtney, M., Karakus, M., Ersozlu, Z., et al. (2022). The Influence of ICT Use and Related Attitudes on Students' Math and Science Performance: Multilevel Analyses of the Last Decade's PISA Surveys. Large-scale Assessments in Education, 10, Article 8.
8. Kabosheva, A.B. The Effectiveness of Information and Communication Technologies in Quality Education. Bulletin of KASU.
9. Asen, A.T. (2020). The Use of Information and Communication Technologies in the Educational Process. Bilim Ainasy.
10. Baimukhanov, B., Bazarov, Q.B., Medeuov, E.O. (2016). Algebra: Textbook for Grade 7 of General Education Schools. Almaty: Atamura / www.okulyk.kz
11. Akzhol Yelemessov, Nurbol Amanov (2023). Algebra: Textbook for Grade 9 of General Education Schools. Almaty: Astanakitap/ www.okulyk.kz
12. Kuat Kozhahmetov, Yernar Bazarov (2017). Geometry: Textbook for Grade 9 of General Education Schools. Astana: Astanakitap/ www.okulyk.kz

Математикалық пәндерді оқытуда коммуникативті дағдыларды АКТ арқылы дамыту жолдары

КОСЫБАЕВА Умітжан Аманкелдыкызы, *п.ғ.к., профессор, umit1980@nail.ru,*
ИСКАКОВ Сагындык Абдрахманович, *PhD, қауымдастырылған профессор, isagyndyk@mail.ru,*
СЫЗДЫКОВА Назым Косарбековна, *ф.-м.ғ.к., қауымдастырылған профессор, s_nazym_1807@mail.ru,*
****БЕЙСЕНОВА Данагул Рымбаевна,*** *PhD, қауымдастырылған профессор, dana_68_11@mail.ru,*
«Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті» КеАҚ, Университет көшесі, 28, Қарағанды, Қазақстан,

**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Математикалық пәндерді оқыту үдерісінде білім алушылардың коммуникативті дағдыларын ақпараттық-коммуникациялық технологиялар (АКТ) арқылы дамыту жолдары қарастырылады. Авторлар АКТ құралдарын – интерактивті тақта, онлайн-платформалар, білім беру қосымшалары мен сандық ресурстарды тиімді пайдалану арқылы білім алушылардың өзара және педагогпен белсенді қарым-қатынас орнатуына ықпал ететін әдістерді талдайды. АКТ қолданудың математикалық терминологияны меңгеруге, дәлелді пікір айту, таңбаларды дұрыс жазу мен оқуға, логикалық ойлау қабілетін арттыруға қосатын үлесі сараланады. Сонымен қатар, оқу үдерісінде ынтымақтастыққа негізделген тапсырмалар мен топтық жобалар арқылы тілдік дағдыларды дамытудың тиімділігі атап көрсетіледі. Зерттеу мақсаты – заманауи технологияларды пайдалана отырып, оқушылардың пәндік біліммен қатар, коммуникативті құзыреттілігін арттыруға арналған ұсыныстар беру, талдау нәтижелерін көрсету.*

Кілт сөздер: *оқу үдерісі, АКТ құралдары, коммуникативті дағдылар, оқыту әдістері, оқу нәтижелері.*

Способы развития коммуникативных навыков с помощью ИКТ в обучении математике

КОСЫБАЕВА Умітжан Аманкелдыкызы, *к.п.н., профессор, umit1980@nail.ru,*
ИСКАКОВ Сагындык Абдрахманович, *PhD, ассоциированный профессор, isagyndyk@mail.ru,*
СЫЗДЫКОВА Назым Косарбековна, *к.ф.-м.н., ассоциированный профессор, s_nazym_1807@mail.ru,*
****БЕЙСЕНОВА Данагул Рымбаевна,*** *PhD, ассоциированный профессор, dana_68_11@mail.ru,*
НАО «Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова», ул. Университетская, 28, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Анотация. *Рассматриваются пути развития коммуникативных навыков обучающихся в процессе преподавания математических дисциплин с использованием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Авторы анализируют методы, способствующие активному взаимодействию обучающихся между собой и с преподавателем за счёт эффективного использования ИКТ-средств – интерактивной доски, онлайн-платформ, образовательных приложений и цифровых ресурсов. Раскрывается вклад ИКТ в овладение математической терминологией, формирование аргументированной речи, правильное написание и чтение символов, развитие логического мышления. Также подчёркивается эффективность развития языковых навыков через задания, основанные на сотрудничестве, и групповые проекты в учебном процессе. Цель исследования – представить предложения по повышению не только предметных знаний, но и коммуникативной компетентности учащихся с использованием современных технологий, а также продемонстрировать результаты анализа.*

Ключевые слова: *учебный процесс, средства ИКТ, коммуникативные навыки, методы обучения, результаты обучения.*

REFERENCES

1. Law of the Republic of Kazakhstan on Education. Retrieved from: www.adilet.kz
2. State Program for the Development of Education in the Republic of Kazakhstan until 2025. Retrieved from: www.adilet.kz
3. Duisembinova, R.Q. (2012). Professional Pedagogy: Textbook. Almaty: Poligrafkombinat, 347 p.
4. Zhanatbekova, N.Zh. (2014). Modern Pedagogical Technologies. Almaty, 359 p.
5. Pandeya, Y.P. (2023). Use of ICT in Mathematics Classroom: Situation, Purpose, and Challenges. Siddhajyoti Interdisciplinary Journal, 4 (1), 126-137.
6. Perienen, A. (2020). Frameworks for ICT Integration in Mathematics Education – A Teacher's Perspective. Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 16(6), em1845.
7. Courtney, M., Karakus, M., Ersozlu, Z., et al. (2022). The Influence of ICT Use and Related Attitudes on Students' Math and Science Performance: Multilevel Analyses of the Last Decade's PISA Surveys. Large-scale Assessments in Education, 10, Article 8.
8. Kabosheva, A.B. The Effectiveness of Information and Communication Technologies in Quality Education. Bulletin of KASU.
9. Asen, A.T. (2020). The Use of Information and Communication Technologies in the Educational Process. Bilim Ainasy.
10. Baimukhanov, B., Bazarov, Q.B., Medeuov, E.O. (2016). Algebra: Textbook for Grade 7 of General Education Schools. Almaty: Atamura / www.okulyk.kz
11. Akzhol Yelemessov, Nurbol Amanov (2023). Algebra: Textbook for Grade 9 of General Education Schools. Almaty: Astanakitap/ www.okulyk.kz
12. Kuat Kozhahmetov, Yernar Bazarov (2017). Geometry: Textbook for Grade 9 of General Education Schools. Astana: Astanakitap/ www.okulyk.kz

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_268 UDC 378.147

Digital Solutions in the Implementation of the Stackable Degree Model: Integrating Online Courses and Micro-qualifications in Master's Degrees

[1]***SOVETKANOVA Damira,** Postdoctoral Student, Researcher, Dami_88@list.ru,*
*[2]**AMIRZHANOVA Gulnur,** Master's Degree, gulnur.zere@mail.ru,*
[1]NPJSC «Abai Kazakh National Pedagogical University», 13 Dostyk Avenue, Almaty, Kazakhstan,
[2]NPJSC «Semey University named after Shakarim», 20a Glinka Street, Semey, Kazakhstan,
**corresponding author.*

***Abstract.** Amid the digital transformation of higher education, the Stackable Degree model enables flexible, personalized master's programs through the step-by-step accumulation of micro-qualifications and the integration of online courses. This article analyzes digital solutions for implementing this model in master's curricula, drawing on national and international experience. Attention is given to core elements of the digital educational environment: LMS platforms with LTI integration, adaptive AI-based systems, blockchain technologies, NFT certification, and digital micro-crediting. Cases from the UK, USA, EU, China, and Kazakhstan illustrate diverse institutional approaches to stackability. The study underscores the need for regulatory validation of micro-qualifications, technological interoperability, and robust digital infrastructure as prerequisites for sustainable modular and stackable trajectories. It presents an architectural model of a digital environment that supports the accumulation and recognition of micro-achievements. Practical recommendations are offered for universities and educational platforms on designing stackable master's programs in the digital economy.*

***Keywords:** Stackable Degree, digital technologies, online learning, micro-qualifications, LMS platforms, digital education ecosystem, flexible educational trajectories.*

Introduction

Amid rapid digitalization and changes in higher education, traditional models are evolving. The Stackable Degree – a modular path that accumulates micro-qualifications and integrates online courses – offers flexible, individualized training and expands access to master's programs, including for working professionals who can upskill alongside their jobs.

The Stackable Degree program is gaining importance due to its integration with learning management systems (LMS), online courses, certificate programs, and digital ecosystems. These tools allow for the creation of individual learning paths that reflect students' needs, career plans, and labor market requirements. Effective implementation in master's programs requires integrated digital solutions that ensure quality, validation of micro-qualifications, and their transparent integration into the main curriculum.

This study analyzes and justifies integrating digital tools into master's-level Stackable Degrees, focusing on unifying online courses and micro-qualifications within a single digital ecosystem.

The study aims to: define the theoretical and methodological foundations of the Stackable Degree as a flexible master's framework; assess the use of online courses, LMS platforms, and digital certificates for micro-qualifications; analyze domestic and international implementations; identify key elements of the digital educational ecosystem for integrating micro-qualifications into master's programs; and develop recommendations for designing and implementing the Stackable Degree digital model in higher education.

The study develops scientific and practical bases for digital modernization of master's programs and the sustainable implementation of flexible learning trajectories.

Materials and methods of research

The study uses a combination of theoret-

ical, comparative, case-study and expert approaches to determine and substantiate digital solutions that support the implementation of Stackable Degree models in master's programs, paying particular attention to the inclusion of micro-qualifications and online courses in the overall educational ecosystem. The methodological framework is grounded in the ideas of digital transformation, modular and stackable learning, and digital ecosystems, and relies on the examination of regulatory and strategic documents (such as Kazakhstan's 2023-2029 Concept, A European Approach to Micro-Credentials, and relevant UNESCO/EU initiatives), as well as up-to-date scholarship on stackable degrees, learning management systems, learning analytics, blockchain-based certification, and micro-credentials.

A targeted literature review (2018-2025) analyzed peer-reviewed articles, international reports, and industry analyses (Wired, Hechinger Report, UNESCO, ER10 Media, Redefine Education), focusing on adaptive LMS, digital certification, and micro-courses in master's programs, as well as institutional practices (WGU, Open University UK, edX, KazNU, Narxoz). The empirical component draws on case studies from universities in the UK, USA, EU countries, China, and Kazakhstan, selected based on the availability of stackable educational pathways, LMS with LTI integration, digital micro-credentials, and a focus on the master's level. The comparative analysis was conducted across four parameters: educational pathway flexibility, type of digital infrastructure, recognition mechanisms, and the degree of institutionalization. Additionally, a content analysis of regulatory documents and university website materials was conducted, allowing for the systematization of the digital tools used (LMS, AI modules, blockchain, NFT, verification systems) and the development of flowcharts and an integrated support model for a stackable master's program, forming a holistic digital education model adapted to the conditions of Kazakhstan and international practice.

Results and discussion

Higher education is shifting toward flexibility, personalization, and recognition of diverse learning. The Stackable Degree model, used internationally and nationally, illustrates this: at The Open University (UK), a Postgraduate Certificate consists of four 15-credit microqualifications, aggregated into a Level-7 PGCAP under the FHEQ, supporting individual trajectories and acknowledging formal and informal learning [1].

In a broader context, the Redefine Education report [2] surveys current and future trends in stackable degrees and micro-credentials, emphasizing lifelong learning, career applicability, and standardization amid higher education's digitalization. The practical side is illustrated by Western Governors University and edX's joint MicroBachelors programs [3], which increase access and student motivation, especially for adults.

Using an international Christian school in China, De Silva, Woods & Kong [4] advocate flexible pathways beyond traditional degrees; despite its school-level focus, the study points to system-wide transformation.

At the policy level, the European Commission's A European approach to micro-credentials frames micro-qualifications as central to HE transformation, setting principles for recognition, validation, and integration to enable international compatibility; similarly, Keevy & Chakroun (UNESCO) analyze using level descriptors to validate learning outcomes for cross-border mobility and digital formats [5].

Digital infrastructure underpins stackable solutions: Díaz-Redondo et al. [6] show microlearning – LMS integration via LTI/LIS for adaptive paths; Gherman et al. [7] describe personalized microlearning with adaptive algorithms and progress tracking (relevant for practice-oriented master's); Muslim et al. stress Learning Analytics for scalable, sustainable microcourses; Hoi et al. [8] systematize ML for adaptive LMSs, indicating further automation.

Kazakhstan is also evolving: Sarsenbieva N.F. et al. [9] note big data – based monitoring, end-to-end tracking from bachelor's to PhD, and national EdTech; Karaganda University of Economics uses a distance-credit model with LMS and flexibility. Standard.kz and ER10 Media report digital campuses, AI services, and partnerships with global platforms (e.g., Coursera) enabling micro-courses within formal master's programs.

Regulatory backing: Kazakhstan's 2023-2029 Education Concept promotes smart universities, stackable trajectories, and online learning; in 2022-2025 Al-Farabi KazNU runs a CS master's with cloud, gamification, and mobile LMS; Narxoz and NEU issue NFT diplomas and blockchain credentialing to boost trust and automate verification [10].

This study analyzes and systematizes digital tools for implementing the Stackable Degree in master's programs and develops recommendations for a digital environment that ensures flexibility, cumulativeness, and recognition of learning outcomes at national and international levels.

Stackable degrees rely on a flexible digital ecosystem integrating diverse learning formats and validation methods. Core tools include LTI-enabled LMSs, AI-adaptive platforms, and decentralized credentials (block-

chain/NFT diplomas). These are used abroad and in Kazakhstan, ensuring sustainable, scalable stackable pathways.

First, modern LTI-enabled LMSs seamlessly connect external modules and analytics; Díaz-Redondo et al. [6] deem them critical for flexible stackable pathways and inter-institutional/international module recognition.

Second, adaptive AI platforms – recommendations, automated progress tracking, personalized paths – boost engagement, recognize prior learning, and adapt to individual pace [7].

Third, digital certification: blockchain (including NFT diplomas) piloted at Kazakhstani universities (Narxoz, Astana IT Hub) to store/verify outcomes, boosting reliable, autonomous micro-qualification verification and formalizing short modules/courses within stackable programs.

Digital tools indicate a stable core for stackable programs: LTI-enabled LMSs are mature, while adaptive AI and blockchain credentials are still developing. Together, they support flexible, transparent master's pathways aligned with international standards and national specifics.

Thus, digital tools for stackable degrees expand learning pathways and shift the master's format from strictly linear to hybrid, modular, and adaptive.

Stackable degrees in master's programs are expanding worldwide as institutional and digital foundations mature; the following examples illustrate varied approaches to micro-qualification recognition, digital infrastructure, and flexible pathways.

UK example: The Open University's PGCAP for university teachers comprises micro-courses with digital certification, modular structure, and stackability up to a master's degree.

US example: WGU partners with edX on MicroBachelors/MicroMasters, applies modular credits so microqualifications roll into master's without loss, and relies on modern LMS and competency-based assessment.

EU policy advances mutual recognition of micro-credentials and robust digital infrastructure. A European Approach to Micro-Credentials proposes a single digital registry, blockchain-based certification, and a quality framework, emphasizing data interoperability and flexible transitions between education levels.

In China, De Silva, Woods & Kong [4] highlight alternative pathways: international schools and stand-alone programs combine online modules with face-to-face learning, indicating stacking beyond universities and into secondary education's flexible certification.

International practice with stackable degree formats demonstrates several relatively distinct models. In the UK, stackability is realised primarily at the master's level (FHEQ 7): micro-courses are embedded and formally recognised within programmes such as PGCAP, delivered through university LMS with a modular course design and issuance of digital certificates, so that students can incrementally accumulate smaller units into a full qualification. In the US, stackability covers both undergraduate and continuing education: micro-courses on platforms like edX and in competency-based institutions such as WGU are counted via credit transfer; MOOC platforms, MicroBachelors and digital badges together support a highly open, cumulative pathway enabling learners to construct degrees or professional profiles step by step. In the EU, several levels of education (mainly EQF 5-7) fall under a dedicated micro-credentials framework with shared principles of recognition, linked to a European digital

Categories of digital solutions to support stackable degrees

Category	Example platforms	Purpose	Advantages
LMS with LTI integration	Moodle, Canvas, Blackboard	Course management, integration of third-party modules	Flexibility, compatibility, scalability
Adaptive AI platforms	Knewton, Smart Sparrow, Coursera AI	Personalization of learning, success prediction, trajectory analysis	Personalization, high engagement, automated analytics
Blockchain and NFT certification	OpenCerts, NARKHOZ NFT, Credly	Secure issuance and storage of diplomas and micro-qualifications	Transparency, autonomy, resistance to falsification
Microcredit and verification systems	Europass Digital Credentials, edX	Formalization of short modules with the possibility of stacking	Recognition, mobility, integration into academic and professional tracks

ecosystem (platforms, EDCI, blockchain-based certification), and across these cases the combination of digital infrastructures with clear validation of micro-learning units becomes the basis for more flexible and personalised learning pathways. In China, flexible hybrid formats and individual learning trajectories are organised through LMS and blended models in secondary education, with partial recognition of these modules as preparation for higher education.

In Kazakhstan, stackable degrees are developing amid large-scale education digitalization and demand for flexible master's formats; Sarsenbiyeva et al. [9] identify big-data monitoring, digital tracking of individual trajectories, and stronger domestic EdTech as foundations for stackable recognition.

Kazakhstani universities are already piloting digital tools for stackable degrees, but with varying levels of maturity. Al-Farabi KazNU uses LMS, cloud micromodules, mobile access, and gamification to support modular master's courses with partial curriculum integration. Narxoz/NEU is the most advanced, employing blockchain, NFT diplomas, and digital badges to formally verify micro-qualifications. Karaganda University of Economics relies on LMS, distance learning, and short online modules within a credit-based model, while Astana IT University is developing a stackable system with online platforms, hybrid learning, and digital tracking in pilot mode. Overall, these cases illustrate a gradual expansion of digital environments enabling stackable trajectories in Kazakhstan's master's programs.

Kazakhstan's 2023-2029 Education Concept codifies digital trajectories, prioritizing smart universities, digital platforms, microcrediting, and recognition of online achievements within programs.

Figure 1 depicts the elements of Kazakhstan's digital environment for stackable degrees.

The block diagram highlights key nodes of Kazakhstan's emerging digital environment – LMS, online courses, microcredits, and verification tools (NFT, blockchain) – linked to enable integrated, transparent stackable trajectories. Student tracking and digital analytics further personalize and manage master's pathways.

Implementation of stackable degrees at the master's level is still constrained by a number of systemic factors: micro-qualifications are not fully legitimized because regulatory frameworks remain underdeveloped; university LMS often prove incompatible as they operate within closed digital ecosystems; and online certification and NFT-based diplomas face skepticism due to insufficient legal backing and low public trust. The situation is further aggravated by the

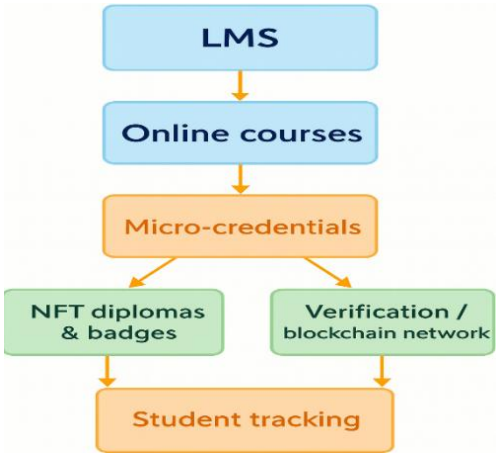


Figure 1 – Components of the digital educational environment of stackable degrees in Kazakhstan

lack of longitudinal data on graduate trajectories, unequal regional access linked to digital divides and weak infrastructure, and excessive student workload when several modules are taken simultaneously. To address these issues, it is necessary to develop a national register and accreditation procedures for micro-qualifications, implement common LTI integration standards and interoperable APIs, expand verification practices and digital literacy, build national systems for digital tracking and learning analytics, strengthen EdTech infrastructure (including solutions for offline access), and introduce AI tools for personalized planning and more balanced workload management.

Principle 1: a flexible, modular digital architecture enabling free selection and accumulation of modules from university LMS and external platforms (MOOC, edX, Coursera). Principle 2: extend microcredit recognition to inter-institutional and international levels via qualification frameworks, digital certification, and participation in global initiatives. Principle 3: ensure platform interoperability – use LTI, SCORM, and open APIs so data, achievements, and modules transfer freely between systems.

Figure 2 outlines a layered architecture with end-to-end integration for scalability, a user-focused top layer, an administrative core for trajectory and microcredit recognition, standards (LTI, xAPI, SCORM, EDCI) ensuring interoperability, and a foundation of LMS, blockchain/NFT diplomas, and AI analytics for verification, monitoring, and transparency.

The model outlines an integrated digital environment that supports stackable master's trajectories and adapts to digital transformation.

Flexible, personalized, recognized trajec-

Figure 2 – Model of the digital environment providing support for stackable master's degree programs

tories are possible only with a holistic digital ecosystem – LTI-enabled LMSs, adaptive AI platforms, blockchain certification, and robust microcredit infrastructure. Kazakhstan and international practice show success requires technology plus regulatory recognition, inter-institutional compatibility, and trust in digital certificates, with adoption in master's programs increasing flexibility, sustainability, and alignment with the digital economy and global labor market.

Conclusions

The results confirm that digital tools are essential for implementing Stackable Degrees in master's – addressing digitalization challenges and enabling flexible, individualized learning; based on international and Kazakhstani experience and the theoretical-methodological base, the main conclusions are formulated.

1. The Stackable Degree model builds modular, personalized master's pathways by stepwise accumulation of online courses, micro-credentials, and digital credentials, improving accessibility and labor-market relevance.

2. The technological foundation comprises mature components: LTI-enabled LMS, AI-driven adaptive systems, and decentralized credentials (blockchain, NFT, digital badges).

3. Kazakhstan's stackable-degree infrastructure is uneven: KazNU, Narxoz, and Astana IT University lead (micro-courses, NFT diplomas, digital tracking), but disparate approaches highlight the need for centralized coordination.

4. Key barriers: lack of legal recognition of micro-qualifications, platform inconsistencies/integration gaps, low trust in digital certification, and limited regional access. Required: a national micro-credential register, unified technical standards, and investment in digital infrastructure.

5. The study's model defines a sustainable, interoperable, user-centered, administratively validated digital environment, scalable nationally and internationally.

Thus, the Stackable Degree model promises flexible, modular, personalized, cross-border higher education; in Kazakhstan, full implementation requires coordinated state – university – EdTech efforts to build a complete digital ecosystem.

Financing

This research has been funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under the project AP22686317 «Advancing Graduate Education: The Stackable Degree Model for Integrating Formal and Non-Formal Education».

REFERENCES

1. Selvaratnam S., Sankey M. Investigating the Views and Use of Stackable Microcredentials within a Postgraduate Certificate in Academic Practice // Journal of Interactive Media in Education. – 2021. DOI: 10.5334/jime.805.
2. Redefine Education. Microcredentials and Stackable Degrees: The Future of Lifelong Learning. 2023. [Electronic resource]. Access mode: https://www.researchgate.net/publication/378308805_Microcredentials_Navigating_New_Frontiers_for_Skill_Acquisition_and_Lifelong_Learning (date of access 15.08.2025).
3. Lesovik V., Glagolev E., Elistratkin M., Absimetov M., Ermolaeva A. Perspectives of application of aerated concrete for 3D building printing. – 2017. DOI: 10.2991/aime-17.2017.33.
4. De Silva M., Woods O., Kong L. Alternative education spaces and pathways: Insights from an international Christian school in China // Area. – 2020. – Vol. 52. – Pp. 750-757. DOI: 10.1111/area.12634.
5. A European approach to micro-credentials – 2023. European Commission. [Electronic resource]. Access

mode: https://education.ec.europa.eu/education-levels/higher-education/micro-credentials (date of access 01.09.2025).
6. Díaz-Redondo R.P., Caeiro-Rodríguez M., López-Escobar J.J., Fernández-Vilas A. Integrating micro-learning content in traditional e-learning platforms // arXiv preprint. – 2023.
7. Díaz-Redondo R., Caeiro-Rodríguez M., López-Escobar J.J., Vilas A. Integrating micro-learning content in traditional e-learning platforms // Multimedia Tools and Applications. – 2021. – Vol. 80. – Pp. 1-31. DOI: 10.1007/s11042-020-09523-z.
8. Muslim A., Chatti M.A., Guesmi M. Open Learning Analytics: A Systematic Literature Review and Future Perspectives // arXiv preprint. – 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2303.12395.
9. Сарсенбиева Н.Ф., Мырзахметова Б.Ш., Адылбекова Э.Т. Цифровизация образования в Республике Казахстан // Мир педагогики и психологии: международный научно-практический журнал. 2021. № 01 (54). Режим доступа: https://scipress.ru/pedagogy/articles/tsifrovizatsiya-obrazovniya-v-respublike-kazakhstan.html (Дата обращения: 01.08.2025).
10. Концепция развития высшего образования и науки в Республике Казахстан на 2023-2029 годы. – 2023. IPS «Әділет».

Stackable Degree моделін енгізудегі цифрлық шешімдер: магистрлік бағдарламалардағы онлайн курстар мен микробіліктіліктерді біріктіру

[1]*СОВЕТКАНОВА Дамира Маратовна, *постдокторант, ғылыми қызметкер, Dami_88@list.ru,*
[2]АМИРЖАНОВА Гульнур Нурсатовна, *магистр, gulnur.zere@mail.ru,*
[1]«Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті» КеАҚ, Достық даңғылы, 13, Алматы, Қазақстан,
[2]«Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КеАҚ, Глинка көшесі, 20а, Семей, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Андатпа. *Жоғары білімнің цифрлық трансформациясы аясында Stackable Degree моделі микробіліктілікті біртіндеп жинақтау және онлайн курстарды біріктіру арқылы икемді, жекелендірілген магистрлік бағдарламаларды құруға мүмкіндік береді. Мақалада ұлттық және халықаралық тәжірибеге сүйене отырып, магистратурада осы модельді енгізудің цифрлық шешімдері талданады. Сандық білім беру ортасының негізгі элементтеріне ерекше назар аударылады: LTI интеграциясы бар LMS платформалары, жасанды интеллект негізіндегі бейімделу жүйелері, блокчейн технологиялары, NFT сертификаты және цифрлық микрокредит. Біріккен Корольдік, АҚШ, ЕО, Қытай және Қазақстанның жағдайлары жинақтылықты қамтамасыз етудің әртүрлі институционалдық тәсілдерін көрсетеді. Зерттеу тұрақты модульдік және жинақталатын траекториялардың алғышарттары ретінде микроквалификацияларды, технологиялық өзара әрекеттестік пен сенімді цифрлық инфрақұрылымды нормативтік растау қажеттілігіне баса назар аударады. Микрожетістіктерді жинақтау мен тануды қолдайтын цифрлық ортаның архитектуралық моделі ұсынылған. Университеттер мен білім беру платформалары үшін цифрлық экономикада стектелген магистрлік бағдарламаларды жобалау бойынша практикалық ұсыныстар ұсынылады.*

Кілт сөздер: *кешенді дәреже, цифрлық технологиялар, онлайн оқыту, микробіліктіліктер, LMS платформалары, цифрлық білім беру экожүйесі, икемді білім беру траекториялары.*

Цифровые решения в реализации модели Stackable Degree: интеграция онлайн-курсов и микроквалификаций в магистратуре

[1]*СОВЕТКАНОВА Дамира Маратовна, *постдокторант, научный сотрудник, Dami_88@list.ru,*
[2]АМИРЖАНОВА Гульнур Нурсатовна, *магистр, gulnur.zere@mail.ru,*
[1]НАО «Казахский национальный педагогический университет имени Абая», пр. Достык,

13, Алматы, Казахстан,
[2]НАО «Университет имени Шакарима города Семей», ул. Глинки, 20а, Семей, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В условиях цифровой трансформации высшего образования модель Stackable Degree позволяет создавать гибкие, персонализированные магистерские программы посредством поэтапного накопления микроквалификаций и интеграции онлайн-курсов. В статье анализируются цифровые решения для внедрения этой модели в магистерские программы, опираясь на национальный и международный опыт. Особое внимание уделяется основным элементам цифровой образовательной среды: платформам LMS с интеграцией LTI, адаптивным системам на базе искусственного интеллекта, блокчейн-технологиям, сертификации NFT и цифровому микрокредитованию. Кейсы Великобритании, США, ЕС, Китая и Казахстана иллюстрируют различные институциональные подходы к обеспечению стекируемости. В исследовании подчеркивается необходимость нормативной валидации микроквалификаций, технологической интероперабельности и надежной цифровой инфраструктуры как предпосылок для устойчивых модульных и стекируемых траекторий. Представлена архитектурная модель цифровой среды, поддерживающей накопление и признание микродостижений. Предлагаются практические рекомендации для университетов и образовательных платформ по проектированию стекируемых магистерских программ в условиях цифровой экономики.*

Ключевые слова: *комплексная степень, цифровые технологии, онлайн-обучение, микроквалификации, платформы LMS, экосистема цифрового образования, гибкие образовательные траектории.*

REFERENCES

1. Selvaratnam S., Sankey M. Investigating the Views and Use of Stackable Microcredentials within a Postgraduate Certificate in Academic Practice // Journal of Interactive Media in Education. – 2021. DOI: 10.5334/jime.805.
2. Redefine Education. Microcredentials and Stackable Degrees: The Future of Lifelong Learning. 2023. [Electronic resource]. Access mode: https://www.researchgate.net/publication/378308805_Microcredentials_Navigating_New_Frontiers_for_Skill_Acquisition_and_Lifelong_Learning (date of access 15.08.2025).
3. Lesovik V., Glagolev E., Elistratkin M., Absimetov M., Ermolaeva A. Perspectives of application of aerated concrete for 3D building printing. – 2017. DOI: 10.2991/aime-17.2017.33.
4. De Silva M., Woods O., Kong L. Alternative education spaces and pathways: Insights from an international Christian school in China // Area. – 2020. – Vol. 52. – Pp. 750-757. DOI: 10.1111/area.12634.
5. A European approach to micro-credentials – 2023. European Commission. [Electronic resource]. Access mode: https://education.ec.europa.eu/education-levels/higher-education/micro-credentials (date of access 01.09.2025).
6. Díaz-Redondo R.P., Caeiro-Rodríguez M., López-Escobar J.J., Fernández-Vilas A. Integrating micro-learning content in traditional e-learning platforms // arXiv preprint. – 2023.
7. Díaz-Redondo R., Caeiro-Rodríguez M., López-Escobar J.J., Vilas A. Integrating micro-learning content in traditional e-learning platforms // Multimedia Tools and Applications. – 2021. – Vol. 80. – Pp. 1-31. DOI: 10.1007/s11042-020-09523-z.
8. Muslim A., Chatti M.A., Guesmi M. Open Learning Analytics: A Systematic Literature Review and Future Perspectives // arXiv preprint. – 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2303.12395.
9. Sarsenbiyeva N.F., Myrzakhmetova B.Sh., Adylbekova E.T. Tsifrovizatsiya obrazovaniya v Respublike Kazakhstan // Mir pedagogiki i psikhologii: mezhdunarodnyy nauchno-prakticheskiy zhurnal. – 2021. – № 01 (54). Rezhim dostupa: https://scipress.ru/pedagogy/articles/tsifrovizatsiya-obrazovniya-v-respublike-kazakhstan.html (data obrashcheniya: 01.08.2025).
10. Kontseptsiya razvitiya vysshego obrazovaniya i nauki v Respublike Kazakhstan na 2023-2029 gody. – 2023. IPS «Adilet».

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_275 UDC 378.147

The Development of Transversal Competencies as a Factor in the Professional Mobility of Future Teachers of Philology

[1]*ISLAMGALIYEVA Victoria, Cand. of Ped. Sc., Associate Professor, ivzh2012@mail.ru,
[1]SAGIYEVA Aelita, Senior Lecturer, sagieva.aelita@mail.ru,
[2]ABDIRGAZIYEVA Aigul, Master's Degree, Senior Lecturer, aigul-abdir@mail.ru,
[1]MADIYEVA Gulmira, Master's Degree, Senior Lecturer, madievakunanova@bk.ru,
[1]NPJSC «K. Zhubanov Aktobe Regional University», 34 A. Moldagulova Avenue, Aktobe, Kazakhstan,
[2]NCJSC «Marat Ospanov West Kazakhstan Medical University», 68 Maresyev Street, Aktobe, Kazakhstan,
*corresponding author.

Abstract. The article is devoted to the study of the process of formation of transversal competencies of future teachers-philologists in the context of digital transformation of education. The relevance of the topic is determined by the need to train a new generation teacher who can effectively act in a rapidly changing socio-cultural and technological environment. In the context of the competence approach, transversal competencies are considered as integrative personality traits, including cognitive, communicative, activity and reflective components that provide professional mobility, critical thinking, creativity and readiness for continuous self-development. The purpose of the study is to substantiate and verify the pedagogical conditions that ensure the effective formation of the transversal competencies of future philological teachers as a factor in their professional mobility in the system of higher pedagogical education. Interactive technologies (problem learning, technologies for developing training and developing critical thinking), as well as innovative methods: fact-checking, check-up and digital portfolio were introduced into the educational process. The results of the pedagogical experiment showed positive dynamics in the formation of all components of transversal competencies. The practical significance of the study lies in the possibility of using the developed pedagogical conditions in the training system of teachers-philologists, as well as in the design of educational programs of a new generation.

Keywords: transversal competencies, teacher-philologist, competence approach, pedagogical conditions of formation, project activities, innovative technologies in education, fact-checking, check-up, digital portfolio.

Introduction

Modern education is undergoing a period of profound transformation driven by socio-economic and technological changes, globalization, and the digitization of all spheres of life. These processes pose a challenge for teacher education to train a new type of specialist-a teacher who not only possesses professional knowledge and skills but also a wide range of universal, interdisciplinary qualities that ensure successful adaptation to the rapidly changing conditions of professional activity.

In this regard, the problem of the formation of transversal competencies of future teachers is of particular importance, which are considered as integrative personality qualities manifested in the ability to critical thinking, communication, cooperation, self-organization, solving non-standard tasks and continuous professional development.

The analysis of the scientific foundation has shown that significant experience has been accumulated in domestic and foreign pedagogy in the formation of students' transversal skills in the educational environment of universities (E.F. Zeer, D.P. Zavodchikov, O.N. Mukhidova, I.V. Osipova, E.V. Rogaleva, L.R. Tretyakova, N.A. Gluzman [1], Nikolai Tsankov and others others). However, with all the development of theoretical approaches, the problem of integrating transversal competencies into the professional training of teachers requires further

reflection in the context of modern challenges of the digital age.

That is why modern global changes related to digitalization and the introduction of artificial intelligence in all spheres of life increase the need for the formation of these competencies. President of the Republic of Kazakhstan K.K. Tokayev in his Address to the people of Kazakhstan "Kazakhstan in the era of artificial intelligence: current challenges and opportunities" stressed: "The rapid development of artificial intelligence is already affecting the worldview and behavior of people, especially young people. There is no other alternative, as this process radically changes the world order and the way of life of all humankind. We have to be ready for this. It is necessary to act decisively; delay is fraught with the most serious consequences" [2].

In the context of updating the content of education and the implementation of the competence approach, it is important to emphasize that the development of professional competence of teachers is considered as a key condition for the success of educational reforms. The "Methodological recommendations on the development of professional competence of teachers" of the I. Altynsarin National Academy of Education states: "The successful development of innovative education depends on the willingness of professional personnel in education to work in an innovative mode and flexibly respond to the constantly changing needs of society and individuals. Therefore, the development of professional competence of teachers is becoming one of the main conditions for the reform of the Kazakh education system" [3, 9].

This position emphasizes the relevance of the competence approach in modern pedagogy and reflects its importance for the professional development of teachers. It shows that flexibility, innovation, communication and the ability to self – develop are key components of transversal competencies that ensure the success of a teacher in a renewed education.

The requirements for innovative education are actualized by the need to train teachers of a new generation who are able to adapt to rapid technological and socio-cultural changes, master innovative learning tools and form students' readiness for life and professional activity in the digital reality.

In the context of this approach, the opinion of M.S. Moldabekova and other scholars is indicative, according to which "self-awareness, value orientations, interpersonal and social relations, relative independence from the surrounding world, and responsibility for one's actions are necessary for the formation of transversal competencies" [4, 38]. This position clearly reflects the personal and value aspect of transversal competencies, emphasizing that their development is related not only to the cognitive sphere, but also to the socio-psychological sphere of the future teacher's personality.

The relevance of the research is due to the fact that, despite the increasing attention to the development of transversal competencies in modern pedagogy, there are still a number of contradictions in the scientific community. On the one hand, the key role of these competencies in the professional training of future teachers is recognized; on the other hand, pedagogical conditions and effective methods of their formation in the pedagogical education system remain insufficiently developed.

The purpose of the article: to substantiate and check the pedagogical conditions that ensure the effective formation of the transversal competencies of future teacher-philologists as a factor in their professional mobility in the system of higher pedagogical education.

Research methods

In the course of the study, a set of complementary methods was used to ensure a comprehensive study of the problem. Theoretical methods included the analysis of philosophical, psychological, pedagogical and methodological literature, generalization and systematization of scientific data, as well as the study of pedagogical conditions for the formation of transversal competencies.

Based on the theoretical provisions obtained, a transition was made to the practical stage of research, where empirical methods were used: observation of students' academic and extracurricular activities, questionnaires, surveys and testing, the method of expert assessments, analysis of products of activity (essays, projects, methodological developments), as well as pedagogical experiment. To ensure the reliability of the results, quantitative and qualitative methods of analysis were used (statistical processing, expert assessments, and interpretation of data according to pedagogical criteria).

Scientific results

The research was conducted in accordance with the goals and objectives defined by the concept of a competence-based approach in higher pedagogical education. The work was carried out in stages over three years (2022-2025). The empirical part of the study was carried out based on the Philology Faculty of Aktobe Regional University named after K.Zhubanov. The study involved 78 3rd-4th year students of AP 6B01704 "Russian Language and Literature in schools with a non-Russian language of training".

At the stating stage, the initial levels of

formation of transversal competencies of students were determined. Diagnostic questionnaires and testing were carried out, observation of the educational and non-audit activities of students, analysis of the products of their activities (projects, essays, reports on internship). Based on the data obtained, an insufficient formation of a number of competencies was revealed, in particular, communicative flexibility, creativity and reflective skills.

At the formative stage, pedagogical conditions were introduced into the educational process aimed at developing transversal competencies, including the organization of design and research activities, the integration of philological and pedagogical disciplines, the use of interactive learning technologies (problem learning, technologies for developing training and developing critical thinking), innovative methods, as well as the introduction of reflective tasks and self-assessment maps that contribute to the development of critical thinking and self-regulation.

The formation of transversal competencies in the system of higher pedagogical education requires the creation of a holistic pedagogical environment that ensures the integration of cognitive, communicative, activity and reflective components of vocational training. Based on the analysis of theoretical sources and the results of the stating stage of the study, the following main pedagogical conditions were determined that contribute to the effective development of transversal competencies of 3-4 year students of the Philological Faculty.

1. Integration of transversal competencies into the content of philological training. One of the key conditions is the targeted inclusion of transversal competencies in the content of the educational disciplines of the humanitarian and pedagogical cycles. The implementation of this condition involves the formulation of goals and objectives of disciplines with a focus on the development of supra-professional skills (communication, critical thinking, self-organization, creativity), the selection of educational material that contributes to interdisciplinary connections and comprehension of socio-cultural contexts of the studied phenomena, the use of integrative tasks (projects, debates, research cases), allowing students to apply knowledge in non-standard situations.

The relevance of integration is confirmed by international trends. The manual "The standard content of professional competence of a teacher as a basis for standardization of continuing pedagogical education" notes: "All over the world, governments are using a system of continuous professional development and teacher competence to improve the quality of knowledge, improve student learning and improve learning outcomes. This is based on evidence that improving the quality of teachers through professional development is closely correlated with student learning and achievement, as well as the quality of schools. Thus, today the professional development and competence of teachers remain one of the most important approaches to improving the quality of teaching and learning in schools" [5, 6-7].

This position emphasizes the systemic importance of the competence approach and allows us to consider the development of transversal competencies of future philologists as a strategic direction for improving the education's quality.

2. The use of interactive technologies and teaching methods. The formation of transversal competencies is impossible in the context of reproductive education. An effective tool is the introduction of interactive technologies and methods aimed at developing cooperation, critical analysis, communication and self-regulation. Such technologies include project activities that develop responsibility, leadership and the ability to self-organize, problem-based learning and critical thinking technology that stimulate cognitive activity and creative thinking, and developmental learning technologies aimed at the formation of communicative and socio-cultural competencies.

The project activity is of particular importance among interactive forms of learning, which is rightly noted, in modern pedagogical literature: "The value of the project method is that the student goes through trials, gains experience, and has his own approach, system, style of work and interaction. Hence, the project – based learning method as a path to competence" [6, 10].

It was necessary to turn to digital educational platforms and online tools that promote the development of information and media literacy, as well as innovative methods that expand the opportunities for the formation of transversal competencies and strengthen their practice-oriented nature to create an interactive educational space for students. In particular, the "fact-checking" method was used to verify the accuracy of information and sources. The students analyzed media texts, posts, and scientific publications for authenticity. The work develops critical thinking, information and digital literacy, and civic responsibility. The "check-up" method provided diagnostic and reflexive verification of knowledge in a mini-format. Short assignments were offered, allowing students and teachers to determine the level of material assimilation and adjust training in a timely manner. Work develops self-reflection, responsibility, and self-esteem skills. The use of these methods and technologies has shown

the need for an integrated approach to creating a pedagogical environment conducive to the development of all components of transversal competencies.

3. Development of reflexive and evaluative activity of students. Systemic reflection is the most important means of self-knowledge and self-development of a future teacher, providing insight into their own actions, achievements and difficulties. Within the framework of this area, the "Digital Portfolio" method was used, which allowed students to systematize the results of their activities (texts, translations, projects, diaries), track the dynamics of professional growth, develop responsibility, ICT competence and self-presentation skills. Observation diaries and self-assessment maps contributed to the formation of the ability to analyze one's own experience and understand the importance of developing competencies. Together, these tools strengthen the reflexive attitude of students and contribute to the formation of professional responsibility. At the same time, dialogic culture, cooperation and mentoring create conditions for the formation of values, willingness to work in a team environment and the development of interaction skills in a professional environment.

4. Diagnostics and support of the competence formation process. Regular diagnostics allows you to identify difficulties, adjust individual trajectories and ensure stable dynamics of professional growth.

Thus, the comprehensive implementation of these conditions allowed for the development of cognitive, communicative, activity and reflexive components of transversal competencies.

At the final stage, repeated testing, questionnaires and evaluation were conducted according to the same criteria as at the ascertaining stage. A comparison of the results made it possible to establish positive dynamics confirm the effectiveness of pedagogical conditions and draw conclusions about the possibility of their application in the system of training future teachers of philology.

The organization of the research provided a systematic approach to the study of the process of formation of transversal competencies among students of the Faculty of Philology, made it possible to identify the dynamics of their development and confirm the effectiveness of the developed pedagogical conditions.

Results and discussion

The results of the study reflect the dynamics of the formation of transversal competencies of 3rd-4th year students of the Philological Faculty of in the process of implementing the developed pedagogical conditions. To assess effectiveness, diagnostic methods were used, including questionnaires, testing, observation, and expert evaluation, conducted at the ascertaining and control stages of the experiment.

A comparative analysis of the data obtained showed significant positive changes in the level of development of the main components of transversal competencies: cognitive, communicative, activity-based, and reflective.

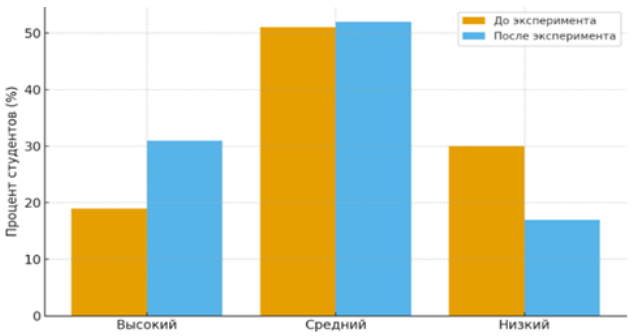
The number of students with a high level of competence increased from 19% to 31%. The proportion of students with an average level remains the same: 51% and 52%. The percentage of students with a low level decreased from 30% to 17%, which indicates the effectiveness of the proposed system of pedagogical conditions (Figure).

At the assessment stage, students demonstrated a higher level of ability to analyze information, establish interdisciplinary connections, and independently solve educational and practical problems (cognitive component). Awareness of the application of philological knowledge to solve pedagogical problems increased, which was evident in project and research work.

Significant development of interpersonal communication, argumentation, and public speaking skills (communicative component) was noted. Students became more confident in participating in-group discussions, conducting professional dialogues, demonstrating tolerance, and showing an ability to cooperate constructively.

Students' independence in planning and implementing educational and educative activities (activity component) has increased. In the process of teaching practice, there was an increased initiative, the ability to assign responsibilities and make decisions in situations of uncertainty.

The development of reflexive skills manifested itself in the ability of students to objectively evaluate the results of their own activities, identify difficulties and outline ways to



The dynamics of the formation of transversal competencies

overcome them (reflexive component). The use of reflective diaries and portfolios contributed to the awareness of individual educational achievements and personal growth.

In the control group, where pedagogical conditions were not implemented, there was no significant dynamics in the level of development of transversal competencies. In the experimental group, there was a steady increase in indicators in all areas, especially in aspects of communicative activity and self-organization. Statistical processing of the results confirmed the validity of the differences between the control and experimental samples.

Conclusions

The conducted research made it possible to substantiate and confirm the importance of the formation of transversal competencies in the system of training future teachers of philology. It is established that these competencies are interdisciplinary in nature and are the basis for the professional and personal self-realization of the future teacher.

In the context of modern educational requirements, the formation of a teacher's personality capable of flexible professional and personal development is of particular importance. As emphasized in the standard document of the National Academy of Education named after I. Altynsarin: "Modern education no longer needs a teacher who is accustomed to act in accordance with instructions and is not capable of independent decision-making. Society needs a teacher as an organizer of the educational process, a person capable of contributing to the formation and development of a student's personality in the educational process – in the role of an organizer, adviser, "coach, and not mentor" [5, 32].

This position vividly reflects the essence of transversal competencies – the teacher's ability to self-organize, critical thinking, communication and flexible interaction in a professional environment.

The results of the study showed that the purposeful creation of pedagogical conditions (the integration of transversal competencies into the content of philological training, the use of interactive technologies and teaching methods, the development of reflective assessment activities, diagnostics and support of the competence formation process) contributes to a significant increase in the level of their formation among senior students. The significant differences identified between the control and experimental groups confirm the effectiveness of the proposed pedagogical conditions for the formation of competencies.

The theoretical significance of the research lies in clarifying the essence of transversal competencies and defining their main components. The practical significance of the research lies in the possibility of applying the developed pedagogical conditions in the system of training teachers of philology, as well as in designing educational programs of a new generation.

Thus, the formation of transversal competencies should be considered as a strategic direction for the modernization of teacher education, ensuring the training of a new generation of teachers capable of effective interaction in a multicultural, digital and dynamically changing educational environment.

REFERENCES

1. Gluzman N.A. Transversal competencies in the context of professional training of future teachers // ANI: pedagogy and psychology. 2023. No. 3 (44). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/transversalnye-kompetentnosti-v-kontekste-professionalnoy-podgotovki-buduschih-pedagogov (date accessed October 30, 2025).
2. Address by Head of State Kassym-Jomart Tokayev to the people of Kazakhstan, «Kazakhstan in the era of artificial intelligence: current challenges and their solutions through digital transformation» // Electronic publication. URL: https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-kazahstan-v-epohu-iskusstvennogo-intellekta-aktualnye-zadachi-i-ih-resheniya-cherez-cifrovuyu-transformaciyu-885145 (date accessed October 25, 2025).
3. Methodological recommendations for the development of professional competence of teachers. – Astana city: National Academy of Education named after I. Altynsarin, 2024. 201 p.
4. Moldabekova M., Fedorenko O., Mukamedenkyzy V., Asembaeva M. (2023). On the development of transversal competencies of students of physico-technical specialties. Recent Contributions to Physics, 87 (4), 36-43. URL: https://bph.kaznu.kz/index.php/zhuzhu/article/view/1727 (date accessed October 25, 2025).

5. The standard content of professional competence of a teacher as a basis for standardization of continuing pedagogical education / Guidelines for the development of independent standardization of teachers. – Astana city: National Academy of Education named after I. Altynsarin, 2023. – 659 p.
6. Basic competencies of a modern teacher: a textbook / Borovkova T.I., Bulakh V.K., Volkova P.V., Volynchuk N.S., Konstantinova I.V., Kravtsov V.V., Nazhova K.S., Lavrinenko T.D., Petrova G.N., Jing Wei. – Vladivostok: Professional Science, 2020. – 192 p.

Болашақ педагог-филологтың кәсіби ұтқырлығының факторы ретінде трансверсальды құзыреттіліктерді дамыту

*[1]*ИСЛАМГАЛИЕВА Виктория Жанабаевна, п.ғ.к., доцент, ivzh2012@mail.ru,*
[1]САГИЕВА Аэлита Тенелбаевна, аға оқытушы, sagieva.aelita@mail.ru,
[2]АБДИРГАЗИЕВА Айгуль Булекбаевна, магистр, аға оқытушы, aigul-abdir@mail.ru,
[1]МАДИЕВА Гульмира Булатовна, магистр, аға оқытушы, madievakunanova@bk.ru,
[1]«Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті» КеАҚ, Ә. Молдағұлова даңғылы, 34, Ақтөбе, Қазақстан,
[2]«Марат Оспанов атындағы Батыс Қазақстан медицина университеті» КеАҚ, Маресьев көшесі, 68, Ақтөбе, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Мақала білім берудің цифрлық трансформациясы жағдайында болашақ педагог-филологтардың трансверсальды құзыреттіліктерін қалыптастыру үдерісін зерттеуге арналған. Тақырыптың өзектілігі жылдам өзгеретін әлеуметтік-мәдени және технологиялық ортада тиімді әрекет етуге қабілетті жаңа буын педагогін даярлау қажеттілігімен айқындалады. Құзыреттілік тұрғысынан трансверсальды құзыреттіліктер кәсіби ұтқырлықты, сыни ойлауды, креативтілікті және үздіксіз өзін-өзі дамытуға дайындықты қамтамасыз ететін когнитивтік, коммуникативтік, қызметтік және рефлексивтік компоненттерді қамтитын тұлғаның интеграциялық қасиеттері ретінде қарастырылады. Зерттеудің мақсаты: болашақ педагог-филологтың жоғары педагогикалық білім беру жүйесінде кәсіби ұтқырлығының факторы ретінде трансверсальды құзыреттіліктердің тиімді қалыптасуына ықпал ететін педагогикалық жағдайларды негіздеу және тексеру. Білім беру үдерісіне fact-checking, check-up және digital portfolio инновациялық әдістері енгізілді. Педагогикалық эксперименттің нәтижелері трансверсальды құзыреттіліктің барлық компоненттерінің қалыптасуының оң динамикасын көрсетті. Зерттеудің практикалық маңыздылығы педагог-филологтарды даярлау жүйесінде, сонымен қатар жаңа буынның білім беру бағдарламаларын жобалау барысында әзірленген педагогикалық жағдайларды пайдалану мүмкіндігінен тұрады.*

Кілт сөздер: *трансверсальды құзыреттіліктер, педагог-филолог, құзыреттілікке негізделген тәсіл, қалыптастырудың педагогикалық шарттары, жобалық қызмет, білім берудегі инновациялық технологиялар, fact-checking, check-up, digital portfolio.*

Развитие трансверсальных компетенций как фактор профессиональной мобильности будущего педагога-филолога

*[1]*ИСЛАМГАЛИЕВА Виктория Жанабаевна, к.п.н., доцент, ivzh2012@mail.ru,*
[1]САГИЕВА Аэлита Тенелбаевна, старший преподаватель, sagieva.aelita@mail.ru,
[2]АБДИРГАЗИЕВА Айгуль Булекбаевна, магистр, старший преподаватель, aigul-abdir@mail.ru,
[1]МАДИЕВА Гульмира Булатовна, магистр, старший преподаватель, madievakunanova@bk.ru,
[1]НАО «Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова», пр. А. Молдагуловой, 34, Актобе, Казахстан,
[2]НАО «Западно-Казахстанский медицинский университет имени Марата Оспанова»,

ул. Маресьева, 68, Актобе, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Статья посвящена исследованию процесса формирования трансверсальных компетенций будущих педагогов-филологов в условиях цифровой трансформации образования. Актуальность темы определяется необходимостью подготовки педагога нового поколения, способного эффективно действовать в быстро меняющейся социокультурной и технологической среде. В контексте компетентностного подхода трансверсальные компетенции рассматриваются как интегративные качества личности, включающие когнитивный, коммуникативный, деятельностный и рефлексивный компоненты, обеспечивающие профессиональную мобильность, критическое мышление, креативность и готовность к непрерывному саморазвитию. Цель исследования заключается в обосновании и проверке педагогических условий, обеспечивающих эффективное формирование трансверсальных компетенций будущих педагогов-филологов как фактора их профессиональной мобильности в системе высшего педагогического образования. В образовательный процесс были внедрены интерактивные технологии (проблемное обучение, технологии развивающего обучения и развития критического мышления), а также инновационные методы: fact-checking, check-up и digital portfolio. Результаты педагогического эксперимента показали положительную динамику сформированности всех компонентов трансверсальных компетенций. Практическая значимость исследования состоит в возможности использования разработанных педагогических условий в системе подготовки педагогов-филологов, а также при проектировании образовательных программ нового поколения.*

Ключевые слова: *трансверсальные компетенции, педагог-филолог, компетентностный подход, педагогические условия формирования, проектная деятельность, инновационные технологии в образовании, fact-checking, check-up, digital portfolio.*

REFERENCES

1. Gluzman N.A. Transversal competencies in the context of professional training of future teachers // ANI: pedagogy and psychology. 2023. No. 3 (44). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/transversalnye-kompetentnosti-v-kontekste-professionalnoy-podgotovki-buduschih-pedagogov (date accessed October 30, 2025).
2. Address by Head of State Kassym-Jomart Tokayev to the people of Kazakhstan, «Kazakhstan in the era of artificial intelligence: current challenges and their solutions through digital transformation» // Electronic publication. URL: https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-kazahstan-v-epohu-iskusstvennogo-intellekta-aktualnye-zadachi-i-ih-resheniya-cherez-cifrovuyu-transformaciyu-885145 (date accessed October 25, 2025).
3. Methodological recommendations for the development of professional competence of teachers. – Astana city: National Academy of Education named after I. Altynsarin, 2024. 201 p.
4. Moldabekova M., Fedorenko O., Mukamedenkyzy V., Asembaeva M. (2023). On the development of transversal competencies of students of physico-technical specialties. Recent Contributions to Physics, 87 (4), 36-43. URL: https://bph.kaznu.kz/index.php/zhuzhu/article/view/1727 (date accessed October 25, 2025).
5. The standard content of professional competence of a teacher as a basis for standardization of continuing pedagogical education / Guidelines for the development of independent standardization of teachers. – Astana city: National Academy of Education named after I. Altynsarin, 2023. – 659 p.
6. Basic competencies of a modern teacher: a textbook / Borovkova T.I., Bulakh V.K., Volkova P.V., Volynchuk N.S., Konstantinova I.V., Kravtsov V.V., Nazhova K.S., Lavrinenko T.D., Petrova G.N., Jing Wei. – Vladivostok: Professional Science, 2020. – 192 p.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_282 UDC 14.85.00

Pedagogical Foundations for Designing Digital Educational Tools in Engineering Education

[1]***TULEBEKOVA Assel,** PhD, Professor, azeliyatul@gmail.com,*
*[2]**KULISZ Monika,** PhD, Associate Professor, m.kulisz@pollub.pl,*
[1]NPJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», 2 Satpayev Street, Astana, Kazakhstan,
[2]Lublin University of Technology, Nadbystrzycka Street, 38 D, Lublin, Poland,
**corresponding author.*

***Abstract.** The contemporary system of higher education faces the need to update pedagogical approaches in response to evolving educational demands and the changing requirements of students' professional preparation. Digital learning environments are becoming increasingly significant due to their flexibility, interactivity, and capacity for individualized learning. The purpose of this study was to identify the pedagogical needs of students and faculty members in construction-related programs as a basis for developing a new digital educational tool. The survey conducted made it possible to determine which forms of digital support learners consider most effective and which barriers hinder their use. The data analysis confirmed the importance of visual, practice-oriented, and interactive formats that promote deeper understanding of academic content and the development of transversal skills. The study also revealed the need for methodological support that enables faculty members to integrate digital technologies without increasing their workload. The findings provide pedagogically grounded recommendations for designing a digital learning environment capable of enhancing the quality of professional training for future specialists in the context of digital transformation.*

***Keywords:** engineering education, practice-oriented learning, visualization, digital competences, educational analytics.*

Introduction

In the context of the digitalization of higher education, the development of educational resources that consider the experience and expectations of students and faculty members is of particular importance. Digital technologies are seen as a means of improving the quality of education, supporting practice-oriented approaches, developing independence, and shaping digital competences. At the same time, it is important not just to integrate technologies, but to ensure their pedagogical relevance and suitability for educational tasks. The best practice demonstrates the effectiveness of digital solutions such as virtual laboratories [1], simulators [2], machine learning [3], and visual tools in improving the quality of engineering education. Digital formats are also actively used in Kazakhstan [4], but further development requires identifying real educational needs, the level of digital readiness, and problematic aspects of learning.

One possible direction is the development of an educational digital platform for practice-oriented training of future builders. The research hypothesis is that such a platform can improve the quality of training by expanding practical work and independent activity of students. To test the hypothesis, it is necessary to study the attitude of students and faculty members towards digital tools and identify their needs. A questionnaire was chosen as the main research method, as it allows obtaining quantitative and qualitative data on the perception of the learning process. As J. Creswell [5] notes, questionnaires are an effective tool for transforming individual experience into empirical data, and their versatility and reproducibility ensure the reliability of the results.

Materials and Methods

An online survey was chosen as the data collection method, which ensured the participation of a wide range of students and faculty members from various courses and educational programs. The use of a digital survey form optimized the data processing, automated the collection of responses, and reduced the risk of human error during the initial analysis stage. The choice of an online format was also due to the geographical distribution of participants and the need to provide them with quick access to the study. Respondents could complete

the questionnaire at a convenient time and from any device with internet access, which increased their engagement and improved the representativeness of the sample. Two separate questionnaires were developed for the study: one for students enrolled in construction-related educational programs and one for faculty members of relevant disciplines.

The questionnaire for students was designed to study educational needs, level of satisfaction with current teaching methods, preferred learning formats, and readiness to use digital simulators and IoT technologies in the learning process. The questionnaire included both closed questions (with a choice of several options) and open questions, allowing respondents to express their own opinions, indicate difficulties, and suggest desired improvements. The questionnaire for construction faculty members was developed to identify their attitude towards the introduction of digital tools, assess their level of digital literacy, readiness to use construction process simulation technologies, and apply IoT devices in the educational process. The questionnaire questions were aimed at analyzing the teaching methods used, the frequency of use of information and communication technologies, and identifying the barriers and difficulties faced by construction faculty members in the transition to digital learning formats.

It should be noted that clear requirements were set for participation in the study to ensure the representativeness of the sample and the validity of the results. Thirty-one universities in Kazakhstan offering educational programs in the fields of construction and engineering systems and networks took part in the survey. This approach is in line with recommendations for organizing empirical research, where an important factor is ensuring the informed participation of all stakeholders. Participation in the survey was voluntary and anonymous. All respondents were informed about the objectives of the study. So, each questionnaire included 12 questions.

The use of the Google Forms digital tool ensured not only data security but also transparency in the data collection and storage process. All results were stored in a secure cloud space, which allowed researchers to quickly analyze incoming questionnaires and record interim observations. The data was then exported to Excel for statistical processing and analysis.

Results

The large sample size (1218 students and 87 faculty members) ensured that the data obtained were highly representative and allowed us to identify consistent trends in educational demands. In response to the question regarding the balance between theoretical and practical training, most students indicated that these components were represented in approximately equal proportions (46.7%). About a third of respondents indicated that the theoretical part of the training predominated (Figure 1). The data obtained indicate a shift in emphasis towards the theoretical component, which highlights the need to strengthen practice-oriented forms of training in the educational process.

Data on academic disciplines show that the most difficult subjects for students are structural mechanics (44%), engineering systems and networks (38%), soil mechanics (33.9%), and digital technologies in construction (33.3%). These disciplines require a high degree of clarity and the use of simulations. Environmental aspects and construction process management are considered the least problematic. Thus, the digital tool should primarily cover engineering and practical modules. Respondents also pointed to the need for visualization: 58.9% learn better with demonstrations, 52.9% with visual materials, and 35.2% with practical case studies. The use of digital platforms is still limited: only 13.1% use them regularly, while about 30% have never used them. Individual elements (online tests, video lectures) are used most often, but not full-fledged digital environments.

The priorities identified by learners in relation to digital platform development include, first and foremost, a user-intuitive interface (54.9%), with additional preferences presented in Figure 2.

The most effective forms of learning, according to the respondents, were group discussions (55.9%), followed by lectures with presentations and video lessons, which highlight the demand for visual and interactive formats. The disciplines in which digital technologies are considered most necessary include Structural Mechanics (41%), Soil Mechanics, and Construction Materials, followed by Engineering Systems and Networks, and Digital Technologies in Construction. These areas represent key domains for the digital transformation of engineering education. Student expectations are primarily associated with the development of a unified digital workspace with a deadline calendar, which received the strongest support among all proposed tools (more than 60%). Interest in simulations and personalized recommendations is comparatively lower, but it remains consistent and relevant for a wide range of learners.

The group of faculty members demonstrates a high level of professional experience: a large proportion of respondents have more than twenty years of teaching experience, and another significant part is between ten and

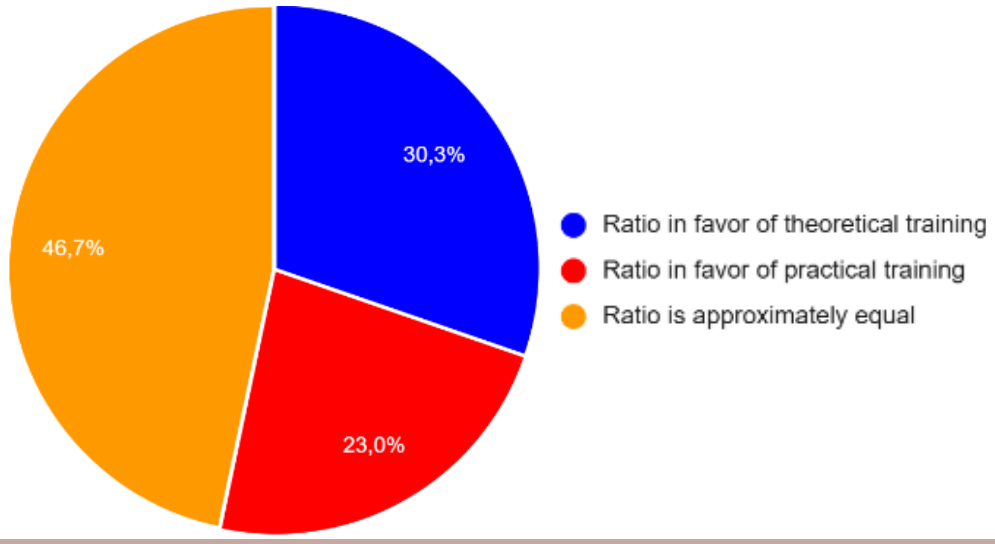


Figure 1 – Ratio of theoretical and practical training

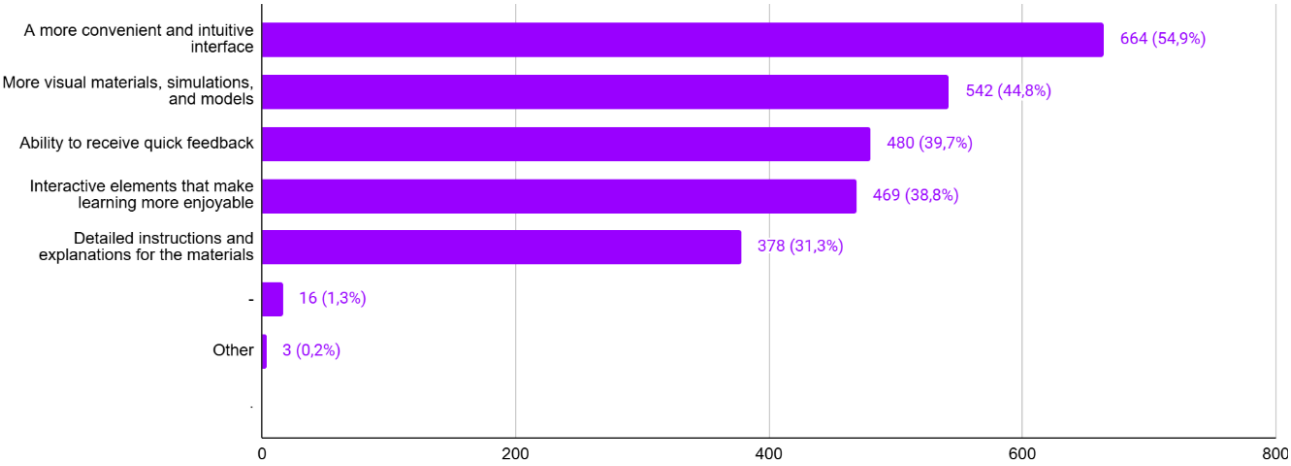


Figure 2 – Priority areas for the development of digital platforms

twenty years, which indicates the maturity and stability of the teaching staff. In the faculty members' view of practical training, the highest priority is the development of skills for working with equipment, followed by using specialized software, while data analysis is considered a less central component. Taken together, these results emphasize the need to integrate simulations, software-based tools, and digital measurement devices into a unified educational environment that supports practice-oriented learning and the development of professional competencies.

The positions of faculty members and students regarding effective digital tools largely coincide. Demonstrations are considered the most significant and are noted 11–12 percentage points more often than visual materials (67.8% versus 56.3%), which indicates a high degree of agreement between the expectations of both groups. Faculty members rate traditional methods quite highly, averaging 7–8 points out of 10, but emphasize the need for digital enhancement.

The use of digital platforms among faculty members is significantly higher than among students: more than 70% use them occasionally, and about a quarter use them regularly. At the same time, like students, they more often choose online tests and video lectures, while simulations and virtual laboratories are used much less frequently. In addition, faculty members note there is a lack of methodological materials, which limits the possibilities for wider implementation of digital tools. Faculty members' priorities for the development of digital platforms are also close to those of students: the most important are a user-friendly

interface, advanced visualization and simulation tools, fast feedback mechanisms, and engagement tools. The coincidence of these positions forms a clear direction for the design of a unified digital platform that combines visual, practical, and interactive components.

During the survey, faculty members identified several key effects of using digital tools. The most significant was the ability to conduct laboratory work through simulations when equipment is unavailable and the enhancement of material visualization, both of which received equal support (57.6%). Demonstrating modern engineering technologies was noted less frequently but remained an important effect (45.9%). These findings highlight the need for more interactive teaching methods. Faculty members also stressed the importance of strong support for effective digitalization in engineering education (Figure 3).

The strongest demand is for professional training courses (67.1%). Technical support was also mentioned by a considerable share of respondents (44.7%). The qualitative analysis of open responses confirmed the quantitative results: both students and faculty members in construction-related programs expect a more flexible, visually rich, and practice-oriented learning process.

The survey enabled us to determine participants' digital readiness and identify key trends in digital culture in engineering education. The coincidence of the positions of both groups indicates the maturity of the educational environment and readiness for digital change. Digitalization is perceived not as an external requirement but as a means of professional growth for faculty members and improving the quality of student learning, which creates favorable conditions for the development of sought-after digital solutions. From an educational sociology perspective, aligned expectations among participants ease the adoption of innovations and reduce resistance, thereby enhancing the effectiveness of digital transformation.

Discussion

A comprehensive analysis of the results of a survey of students and faculty members in the field of construction revealed key pedagogical needs and confirmed the fundamental importance of practice-oriented learning in a digital environment. The data obtained is consistent with the findings of international studies emphasizing the importance of combining theoretical training and digital simulators for the development of professional competencies of engineering students (Table).

Based on the analysis of the survey data, key pedagogical recommendations were formulated aimed at improving the quality of education and developing a digital educational environment:

1. Creation of a unified digital educational platform. It is necessary to transition from disparate digital tools to an integrated ecosystem with faculty member-student interaction.

2. Enhancing visualization and interactivity. Respondents emphasize the importance of clarity, demonstrations, and practical examples, which require the introduction of visual and interactive modules.

3. Introduction of practice-oriented digital modules. Students and faculty members expect tools that allow them to apply their knowledge in practice through the simulation of learning situations.

4. Provision for immediate feedback. Automatic checking, micro-assessment.

5. Methodological support for faculty members. The digital tool should contain instructions, lesson plans, teaching materials, and

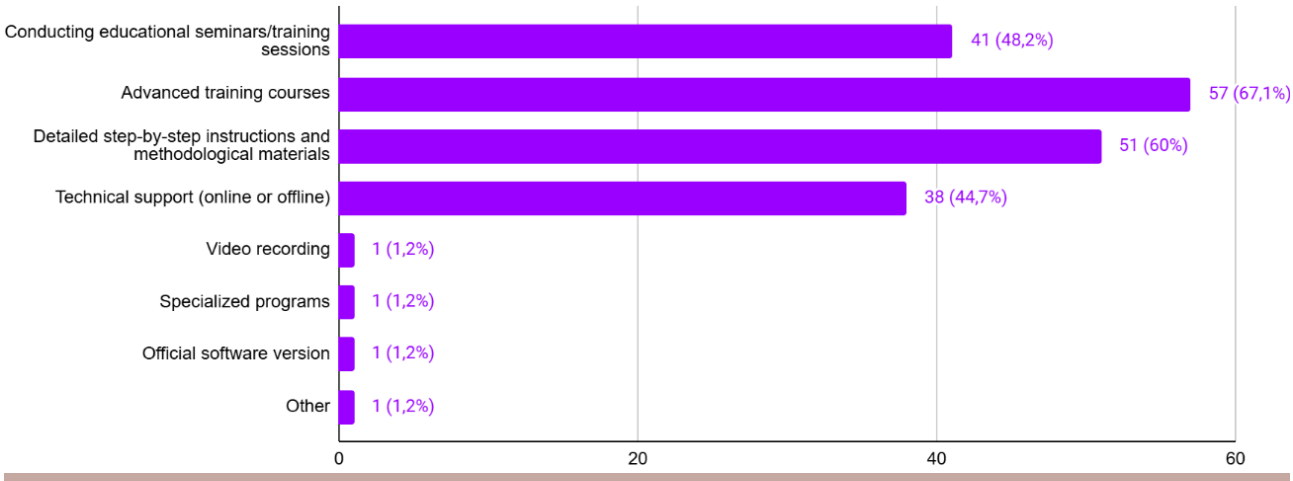


Figure 3 – Support measures needed for digital transformation in engineering education

Comparison of results with international pedagogical studies

Best practice	Pedagogical conclusion (best practices worldwide)	Pedagogical conclusion (present investigation)	Peculiarities
Investigation [6]	Digital platforms enhance learner engagement and activity	Students show interest in digital tools for practical learning	High level of learner interest
Investigation [7]	Digital experiential learning strengthens independence and practical skills	Students note the inadequacy of practice-oriented education	Need for a digital practical component
Investigation [8]	Virtual simulations support the development of professional competencies	Respondents express a clear demand for simulations	Simulations as a means of competent development
Investigation [9]	Needs analysis of faculty members and students is essential before implementing digital solutions	An analysis of user needs has been conducted.	Alignment in the diagnostic approach
Investigation [10]	Successful implementation depends on faculty members' digital readiness	Digital readiness of faculty emerges as a key factor	Consistency in key implementation factors

technical support to improve the digital readiness of teaching staff.

6. Development of pedagogical analytics. It is important to introduce learning analytics to track dynamics, identify difficulties, and personalize educational trajectories.

Conclusion

The study provided a comprehensive overview of the digital readiness of students and faculty members in construction-related fields and identified key pedagogical patterns that are significant for the further development of the digital educational environment.

The survey results clearly showed that participants in the educational process have a high demand for a more structured and integrated digital environment: over 70% of students and over 60% of faculty members noted the need for a single space that combines learning materials, communication, and progress monitoring tools. The study revealed a high degree of consistency between the expectations of students and faculty members, which is an important condition for the successful implementation of digital solutions. Thus, the data obtained confirm that the development of a digital educational platform in the field of construction education is pedagogically in demand and meets the real expectations of all participants in the educational process. The study can serve as a starting point for the formation of a well-founded, scientifically verified concept of a digital ecosystem aimed at improving the quality of training for future specialists.

Funding: *This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP26195121 «Development of an educational digital platform for future builders with simulation of construction processes and integration with measuring devices via IoT»).*

REFERENCES

1. Are Virtual Laboratories and Remote Laboratories Enhancing the Quality of Sustainability Education / M.C.-P. Poo, Y. Lau, Q. Chen // Education Sciences. – 2023. – Vol. 13, No. 11. – P. 1110. DOI: 10.3390/educsci13111110
2. Simulation-Based Learning in Higher Education: A Meta-Analysis / O. Chernikova, N. Heitzmann, M. Stadler, D. Holzberger, T. Seidel, F. Fischer // Review of Educational Research. – 2020. – Vol. 90, No. 4. – Pp. 499-541. DOI: 10.3102/0034654320933544
3. Application of machine learning in electrical process tomography with variable frequency measurement sequences / G. Kłosowski, M. Kulisz, T. Rymarczyk, Ł. Skowron, P. Olszewski, K. Niderla // Measurement. – 2025. – Vol. 247. – P. 116770. DOI: 10.1016/j.measurement.2025.116770
4. A Decision-Making Platform for Educational Content Assessment Within a Stakeholder-Driven Digital Educational Ecosystem / Z. Nurbekova, G. Aimicheva, K. Baigusheva, T. Sembayev, M. Mukametkali // International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP). – 2023. – Т. 13, № 7. – С. 4-23. DOI: 10.3991/ijep.v13i7.41689

5. Creswell J.W. Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches / J.W. Creswell, Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2018, p.384.
6. Enhancing methods engineering education with a digital platform: usability and educational impact on industrial engineering students / D. Escobar-Castillejos, I. Sigüenza-Noriega, J. Noguez, D. Escobar-Castillejos, L.A. Berumen-Glinz // Frontiers in Education. – 2024. – T. 9. – C. 1438882. DOI: 10.3389/feduc.2024.1438882
7. Digitally Enabled Experiential Learning Spaces for Engineering Education 4.0 / D.E. Salinas-Navarro, C.L. Garay-Rondero, I.A. Arana-Solares // Education Sciences. – 2023. – Vol. 13, No. 1. – P. 63. DOI: 10.3390/educsci13010063
8. Design and application of virtual simulation teaching platform for intelligent manufacturing / P. Zheng, J. Yang, J. Lou, B. Wang // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14, No. 1. – P. 12895. DOI: 10.1038/s41598-024-62072-5
9. Digitalisation in engineering education: practice challenges and opportunities / O. Evtushenko, O. Toporkova, N. Kokhashvili, E. Yankina // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 371. – C. 05072. DOI: 10.1051/e3sconf/202337105072
10. Drivers of Digital Technology Adoption in Engineering Education / University of Nigeria Nsukka, U. Onyia, N. Madueme, University of Nigeria Nsukka, U. Nwankwo // Journal of Engineering Education Transformations. – 2025. – T. 38, № IS2. – C. 1-7. DOI: 10.16920/jeet/2025/v38is2/25001

Инженерлік білім беру үшін цифрлық білім беру құралдарын жобалаудың педагогикалық негіздері

[1]*ТУЛЕБЕКОВА Асель Сериковна, *PhD, профессор, azeliyatul@gmail.com,*
[2]KULISZ Monika, *PhD, қауымдастырылған профессор, m.kulisz@pollub.pl,*
[1]«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан,
[2]Люблин политехникалық университеті, Надбыстжицкая көшесі, 38 Д, Люблин, Польша,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Жоғары білім беру жүйесі студенттердің кәсіби даярлығына қойылатын талаптар мен білім алушылардың өзгеріп жатқан білім беру сұраныстарына байланысты педагогикалық тәсілдерді жаңартуды қажет етеді. Цифрлық білім беру ортасы оқыту үдерісінде икемділік, интерактивтілік және жекелендірілген білім траекторияларын қамтамасыз ету мүмкіндіктеріне ие болғандықтан ерекше маңызға ие болуда. Осы зерттеудің мақсаты – құрылыс бағыттары бойынша білім алатын студенттер мен оқытушылардың педагогикалық қажеттіліктерін анықтап, жаңа цифрлық білім беру құралын әзірлеуге негіз қалыптастыру болды. Жүргізілген сауалнама білім алушылар тиімді деп санайтын цифрлық қолдаудың түрлерін және оларды пайдалануға кедергі келтіретін барьерлерді айқындауға мүмкіндік берді. Деректерді талдау оқу материалын тереңірек меңгеруге және метапәндік дағдыларды дамытуға ықпал ететін визуалды, тәжірибеге бағытталған және интерактивті форматтардың маңыздылығын көрсетті. Сонымен қатар цифрлық технологияларды қосымша жүктеме арттырмай оқу үдерісіне енгізуге мүмкіндік беретін әдістемелік қолдауға оқытушылар тарапынан сұраныс бар екені анықталды. Алынған нәтижелер цифрлық трансформация жағдайында болашақ мамандарды даярлау сапасын арттыра алатын цифрлық білім беру ортасын жобалауға педагогикалық тұрғыдан негізделген ұсынымдар ұсынады.*

Кілт сөздер: *инженерлік білім беру, практикаға бағытталған оқыту, визуализация, цифрлық құзыреттер, педагогикалық аналитика.*

Педагогические основы проектирования цифровых образовательных инструментов в инженерном образовании

[1]*ТУЛЕБЕКОВА Асель Сериковна, *PhD, профессор, azeliyatul@gmail.com,*
[2]KULISZ Monika, *PhD, ассоциированный профессор, m.kulisz@pollub.pl,*
[1]НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан,

[2]Люблинский политехнический университет, ул. Надбыстжицкая, 38 Д, Люблин, Польша,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Современная система высшего образования сталкивается с необходимостью обновления педагогических подходов в связи с изменяющимися образовательными запросами и требованиями к профессиональной подготовке студентов. Цифровые образовательные среды становятся особенно важными благодаря их гибкости, интерактивности и возможности индивидуализации обучения. Целью данного исследования было выявление педагогических потребностей студентов и преподавателей строительных образовательных программ для последующей разработки нового цифрового инструмента. Проведённый опрос позволил определить, какие формы цифровой поддержки обучающиеся считают наиболее эффективными и какие барьеры препятствуют их использованию. Анализ данных подтвердил значимость визуальных, практико-ориентированных и интерактивных форматов, способствующих более глубокому пониманию учебного материала и развитию метапредметных навыков. Также выявлена потребность преподавателей в методическом сопровождении, позволяющем интегрировать цифровые технологии без увеличения нагрузки. Полученные результаты формируют педагогически обоснованные рекомендации для создания цифровой среды, способной повысить качество подготовки будущих специалистов в условиях цифровой трансформации.*

Ключевые слова: *инженерное образование, практико-ориентированное обучение, визуализация, цифровые компетенции, педагогическая аналитика.*

REFERENCES

1. Are Virtual Laboratories and Remote Laboratories Enhancing the Quality of Sustainability Education / M.C.-P. Poo, Y. Lau, Q. Chen // Education Sciences. – 2023. – Vol. 13, No. 11. – P. 1110. DOI: 10.3390/educsci13111110
2. Simulation-Based Learning in Higher Education: A Meta-Analysis / O. Chernikova, N. Heitzmann, M. Stadler, D. Holzberger, T. Seidel, F. Fischer // Review of Educational Research. – 2020. – Vol. 90, No. 4. – Pp. 499-541. DOI: 10.3102/0034654320933544
3. Application of machine learning in electrical process tomography with variable frequency measurement sequences / G. Kłosowski, M. Kulisz, T. Rymarczyk, Ł. Skowron, P. Olszewski, K. Niderla // Measurement. – 2025. – Vol. 247. – P. 116770. DOI: 10.1016/j.measurement.2025.116770
4. A Decision-Making Platform for Educational Content Assessment Within a Stakeholder-Driven Digital Educational Ecosystem / Z. Nurbekova, G. Aimicheva, K. Baigusheva, T. Sembayev, M. Mukametkali // International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP). – 2023. – Т. 13, № 7. – С. 4-23. DOI: 10.3991/ijep.v13i7.41689
5. Creswell J.W. Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches / J.W. Creswell, Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2018, p.384.
6. Enhancing methods engineering education with a digital platform: usability and educational impact on industrial engineering students / D. Escobar-Castillejos, I. Sigüenza-Noriega, J. Noguez, D. Escobar-Castillejos, L.A. Berumen-Glinz // Frontiers in Education. – 2024. – Т. 9. – С. 1438882. DOI: 10.3389/feduc.2024.1438882
7. Digitally Enabled Experiential Learning Spaces for Engineering Education 4.0 / D.E. Salinas-Navarro, C.L. Garay-Rondero, I.A. Arana-Solares // Education Sciences. – 2023. – Vol. 13, No. 1. – P. 63. DOI: 10.3390/educsci13010063
8. Design and application of virtual simulation teaching platform for intelligent manufacturing / P. Zheng, J. Yang, J. Lou, B. Wang // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14, No. 1. – P. 12895. DOI: 10.1038/s41598-024-62072-5
9. Digitalisation in engineering education: practice challenges and opportunities / O. Evtushenko, O. Toporkova, N. Kokhashvili, E. Yankina // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 371. – С. 05072. DOI: 10.1051/e3sconf/202337105072
10. Drivers of Digital Technology Adoption in Engineering Education / University of Nigeria Nsukka, U. Onyia, N. Madueme, University of Nigeria Nsukka, U. Nwankwo // Journal of Engineering Education Transformations. – 2025. – Т. 38, № IS2. – С. 1-7. DOI: 10.16920/jeet/2025/v38is2/25001

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_289 УДК 336

Система внутреннего государственного финансового контроля в Казахстане

АЙТМУКАНОВА Гульфара Майдановна, *магистр, старший преподаватель,*
aitmukanova82@mail.ru,
ЧВПОУ «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет»,
пр. Н. Назарбаева, 208, Уральск, Казахстан.

Аннотация. *Цель статьи – рассмотреть систему внутреннего государственного финансового контроля в Казахстане. Внутренний государственный финансовый контроль относится к процессам, политике и процедурам, реализуемым правительством для мониторинга и управления своей финансовой деятельностью и ресурсами. Цель внутреннего государственного финансового контроля – предотвращение мошенничества, растраты и нецелевого использования государственных средств, обеспечение соблюдения финансовых правил и требований законодательства. Его роль в предотвращении неэффективного финансового управления, обеспечении подотчетности, усилении финансовой дисциплины, защите общественного доверия, выявлении и предотвращении мошенничества и коррупции, а также поддержке экономического развития имеет важное значение для эффективного функционирования государственных учреждений и общего благосостояния общества. Внутренний государственный финансовый контроль способствует подотчетности среди государственных чиновников и служащих, требуя прозрачности финансовых операций и отчетности. Возлагая на отдельных лиц ответственность за свои действия и решения, механизмы внутреннего контроля способствуют развитию культуры порядочности, честности и этичного поведения в государственном секторе. Демонстрируя прозрачность, подотчетность и ответственное управление государственными ресурсами, механизмы внутреннего контроля повышают доверие общества к правительству, способствуют доверию инвесторов и поддерживают экономическую стабильность и развитие.*

Ключевые слова: *государственная собственность, внутренний государственный финансовый контроль, государственные учреждения, Высшая аудиторская палата.*

Введение

Эффективное управление государственной собственностью и активами остается значимым вопросом для экономики Казахстана. Немаловажную роль в этом вопросе играет система государственного финансового контроля. Внутренний государственный финансовый контроль как составная часть функционирования государственного финансового контроля направлен на предотвращение ошибок и нарушений, их своевременное обнаружение и принятие своевременных мер по исправлению ситуации. Сущность внутреннего государственного финансового контроля заключается в его способности обеспечивать надзор, мониторинг и оценку финансовых операций и сделок внутри государственных учреждений, обеспечивая соблюдение налоговых и бюджетных правил. Роль внутреннего государственного финансового контроля для экономики страны значительна. Эффективное управление государственными финансами помогает поддерживать экономическую стабильность и устойчивость. Прозрачное и подотчетное управление финансами помогает укрепить доверие граждан и инвесторов, что, в свою очередь, может способствовать экономическому росту и развитию. Эффективный контроль над государственными ресурсами также может помочь смягчить финансовые риски и предотвратить финансовые кризисы. Кроме того, он гарантирует, что государственные средства направляются в приоритетные области, такие как инфраструктура, здравоохранение, образование и социальное обеспечение, тем самым способствуя общему благосостоянию населения и устойчивому экономическому развитию.

Обзор литературы

Анализ литературы показывает, что существует немало работ, посвященных изучению внутреннего государственного финансового контроля. Так, в источнике [1]

система внутреннего контроля определяется как все финансовые, операционные и другие системы контроля, которые осуществляются внутренними контролерами и предполагают мониторинг, независимую оценку и своевременную отчетность перед руководством на систематической основе, чтобы гарантировать, что все действия осуществляются руководством в соответствии с действующими политиками, методами, инструкциями и ограничениями. Данное определение раскрывает концепцию в более широком аспекте, рассматривая ее роль в выявлении и оценке практики, связанной с эффективностью деятельности.

Внутренний контроль также рассматривается как процесс, на который влияет совет директоров, руководство и другой персонал организации, призванный обеспечить разумную уверенность в достижении целей в области эффективности и результативности операций, достоверности финансовой отчетности и соблюдения применимых законов и нормативных актов [2].

Потенциально система внутреннего контроля предотвращает ошибки и мошенничество путем мониторинга и совершенствования процессов организации и финансовой отчетности, а также обеспечения соблюдения соответствующих законов и нормативных актов.

Сфера действия структур внутреннего контроля включает контрольную среду, систему учета, а также контрольные политики и процедуры. Согласно [3], сфера действия системы внутреннего контроля состоит из пяти компонентов, а именно: контрольной среды, оценки рисков, контрольной деятельности, информации и коммуникации, а также мониторинга. Система внутреннего контроля помогает в создании обоснованной уверенности, то есть в выполнении работы, которая позволит достичь поставленных целей. С точки зрения организационной эффективности, контрольная среда, оценка рисков, информация и коммуникация, контрольная деятельность и мониторинг могут повлиять на эффективность внутреннего контроля в организации [4]. В том же исследовании также указывается, что политические институты и группы интересов влияют на эффективность систем внутреннего контроля. Эффективная система внутреннего контроля обеспечивает разумную уверенность в том, что цели и задачи организации будут достигнуты [5].

Материалы и методы исследования

При написании статьи использовались методы анализа, синтеза, сравнения, таблиц. Изучался огромный массив литературы по заданной теме. Объектами исследования стали показатели использования и расходования бюджетных средств.

Результаты исследования

Контроль – это процедура, в течение которой выясняется, идентичны ли реальная деятельность и запланированная деятельность. Контроль – решающий шаг в эволюции организаций, особенно государственных, важный шаг во внедрении и развитии эффективного управления в государственных учреждениях независимо от объекта их деятельности. Финансовый контроль за функционированием бюджетных учреждений делится на два вида – внутренний и внешний контроль, который устанавливает уровни менеджмента и тип коммуникаций [6], [7]. Реализация методов финансового контроля и управленческой подотчетности (ответственности) ориентирована на результат и осуществляется системно [8], [9]. Внутренний государственный финансовый контроль включает в себя все меры контроля ко всем государственным доходам, расходам, активам, правам и обязанностям и олицетворяет собой всю систему финансового и нефинансового контроля, организационных структур, методологий, процедур, включая внутренний аудит, созданную руководством в соответствии с его целями и призванную помочь ему управлять субъектом экономично, эффективно и результативно, обеспечение соблюдения стратегии управления, защиты активов и ресурсов, точности и полноты бухгалтерской отчетности, а также подготовки финансовых и управленческих данных в установленные сроки и достоверным образом. Внутренний государственный финансовый контроль в РК построен на основе всеобъемлющего нормативно-правового фундамента, содержит различные государственные органы, выполняющие как исполнительные, так и надзорные функции. Для него характерно сочетание централизованного надзора со стороны Министерства финансов с децентрализованным осуществлением операций финансового контроля в отдельных министерствах и ведомствах. В каждом министерстве и государственном учреждении существует департамент внутреннего аудита, уполномоченный осуществлять аудиторские инспекции, обеспечивать независимые гарантии результативности режима внутреннего контроля, координации рисками и алгоритмов управления. Акцентируем внимание на элементах внутреннего государственного финансового контроля в РК.

1. Сфера применения.

Внутренний контроль разрабатывается руководством и сотрудниками государственных учреждений. Назначение внутреннего контроля – гарантировать оптимальную

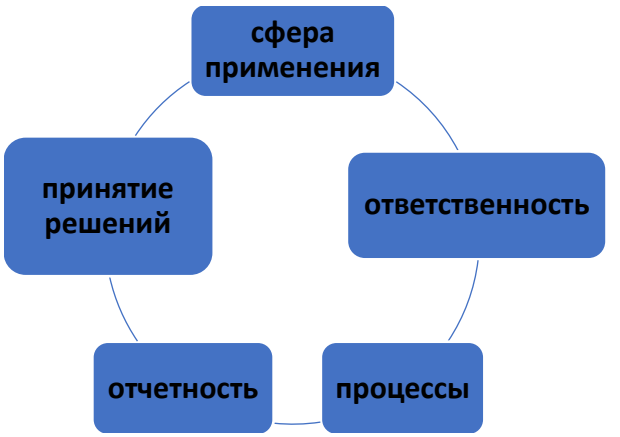


Схема внутреннего государственного финансового контроля в РК

четкость в реализации интенций в трех основных плоскостях: эффективная деятельность, правдивая финансовая отчетность и следование наличествующим законам и нормативным актам.

2. Ответственность.

Обязанности по внутреннему контролю закреплены на каждой ступени управленческой архитектуры. Служащие и руководство вовлечены в выполнение процессов контроля, причем не только финансовые группы, но и все департаменты.

3. Процессы

Процессы внутреннего контроля встроены в управленческие процессы государственных учреждений и включают такие виды функционирования, как утверждение, авторизация, проверка, сверка, анализ операционной деятельности, гарантирование защищенности имущества и разграничение обязанностей.

4. Отчетность

Внутренний аудит может сообщить о своих выводах руководству, которое затем предпримет неизбежные корригирующие мероприятия, оптимизирующие работы и искоренение недочетов.

5. Принятие решений

Признание вердиктов по итогам внутреннего государственного финансового контроля подразумевает применение данных и мониторинг систем внутреннего финансового контроля организации для принятия обоснованных и стратегических решений. Это может включать мониторинг доходов и расходов, экспертизу финансовых рисков, экспертизу эффективности финансовых процессов и поддержание следования правилам и стандартам. Используя данные внутреннего финансового контроля, лица, акцептующие решения, могут гарантировать, что их выбор основан на адекватной и проверенной финансовой информации, что приводит к более эффективным и устойчивым результатам деятельности.

Высшая аудиторская палата – это высший орган финансового контроля Казахстана, выполняющий в основном функции экзогенного государственного аудита. Однако её выводы и рекомендации могут существенно влиять на итоги внутреннего государственного финансового контроля.

Высшая аудиторская палата Республики Казахстан осуществляет внешний государственный аудит и финансовый контроль и является непосредственно подчиненной и подотчетной Президенту Республики Казахстан [10].

В таблице 1 уточнены основные цели Высшей аудиторской палаты Республики Казахстан.

Осуществление заданных целей имеет ввиду воплощение Высшей аудиторской палатой разнообразных видов экспертиз, включая финансовую проверку, проверку гармонизации и проверку продуктивности. Конечный результат этих проверок обычно доводится до сведения правительства для принятия целесообразных вердиктов.

За IV квартал и 12 месяцев 2022 года Высшая аудиторская палата провела 20 аудиторских мероприятий на 124 объектах. Аудитом было охвачено 4,9 трлн тенге, выявлено нарушений на 271,1 млрд тенге, в.т.ч.:

- 34,2 млрд тенге – финансовые нарушения;
- 106,1 млрд тенге – неэффективное планирование;
- 130,8 млрд тенге – неэффективное использование.

Правительству и объектам государственного аудита даны 112 рекомендаций и 346 поручения. Восстановлено (возмещено) 16,9 млрд тенге или 85,3% (с наступившими сроками) [11].

За первое полугодие 2022 года Высшая аудиторская палата провела 14 аудиторских мероприятий на 77 объектах. Аудитом было охвачено 1,3 трлн тенге, выявлено нарушений на 123,1 млрд тенге, в т.ч.:

- 24,9 млрд тенге – финансовые нарушения;
- 98,2 млрд тенге – неэффективное планирование и неэффективное использование.

Правительству и объектам государственного аудита даны 227 рекомендаций и 42 поручения. Восстановлено (возмещено) 8,7 млрд тенге [12].

За первое полугодие 2023 года Высшая аудиторская палата провела 12 аудиторских мероприятий на 121 объектах. Аудитом было

Таблица 1 – Основные цели Высшей аудиторской палаты Республики Казахстан

Цели	Назначение
Обеспечение подотчетности	Обеспечение подотчетности государственных органов и должностных лиц при управлении и использовании государственных ресурсов.
Содействие прозрачности:	Повышение прозрачности управления финансами в государственном управлении путем проведения аудита государственных программ, финансовой отчетности и исполнения бюджета.
Оценка соответствия	Проверка на соответствие деятельности, осуществляемой правительством и связанными с ним организациями, законам и нормативным актам Казахстана.
Оценка эффективности и результативности	Оценка рациональности, эффективности и экономности использования государственных средств
Обеспечение сохранности государственных активов	Защита от потери и нецелевого использования государственных активов
Совершенствование управления государственными финансами	Предоставление рекомендаций, основанных на результатах аудита, способствующих совершенствованию систем управления государственными финансами
Предотвращение и выявление мошенничества и коррупции	Предотвращение и выявление случаев мошенничества, коррупции и незаконного присвоения государственных средств
Предоставление информации для совершенствования политики	Обоснование выводов, приводящих к улучшению национальной политики, стратегий и правовой базы, регулирующих финансовый контроль и бюджетные процессы
Поддержка законодательного надзора	Предоставление важнейшей информации законодательным органам для целей надзора для принятия более обоснованных решений в отношении финансового законодательства и бюджета страны
Укрепление общественного доверия	Способствование укреплению доверия населения к государственным учреждениям.

*Составлено автором на основе источника [12]

охвачено 9,3 трлн тенге, выявлено нарушений на 283,5 млрд тенге, в т.ч.:

- 42,5 млрд тенге – финансовые нарушения;
- 154,8 млрд тенге – неэффективное планирование;
- 86,3 млрд тенге – неэффективное использование.

Правительству и объектам государственного аудита даны 45 рекомендаций и 272 поручений. Восстановлено (возмещено) 2,7 млрд тенге, или 100% (с наступившими сроками) [13].

Если сравнить основные итоги деятельности Высшей аудиторской палаты за первое полугодие 2022 года и первое полугодие 2023 года, то можно увидеть следующее. В первом полугодии 2023 года проведено на 2 аудиторских мероприятия меньше, чем в первом полугодии 2022 года; объектов аудита было больше на 44 единицы. Аудитом было охвачено на 8 трлн тенге больше; выявлено нарушений на 160,4 млрд тенге больше, в том числе финансовых нарушений на 17,6 млрд тенге больше.

Рассмотрим рекомендации, предоставляемые Высшей аудиторской палатой государственным органам в случае выявления финансовых нарушений, которые отражены в таблице 2. Эти рекомендации включают: меры по устранению, улучшение внутреннего контроля, обзор политики и процедур, обучение и образование, дисциплинарные меры.

Рекомендации дифференцируются в зависимости от характера и серьезности финансовых нарушений, нормативно-правового основания. Назначение рекомендаций – гарантирование подотчетности, прозрачности и соблюдения финансовых законов и правил.

Обсуждение

Казахстан стремится реформировать свой финансовый сектор, и ожидается, что

Таблица 2 – Рекомендации Высшей аудиторской палаты государственным органам в случае выявления финансовых нарушений

Рекомендации	Разъяснение
Меры по устранению	Высшая аудиторская палата может рекомендовать конкретные действия для элиминирования установленных финансовых нарушений, что может включать корригирование ошибок бухгалтерского учета, пересмотр финансовой отчетности, введение современных методик для профилактики аналогичных нарушений в перспективе.
Улучшение внутреннего контроля	Могут быть даны рекомендации по усилению внутреннего контроля, содержащие усиление механизмов надзора, улучшение процессов документации или внедрение лучшего разделения обязанностей для предотвращения мошеннических действий.
Обзор политики и процедур	Высшая аудиторская палата может рекомендовать пересмотреть существующие политики и процедуры, чтобы убедиться в их соответствии финансовым положениям и стандартам, что включает пересмотр устаревших регуляций, разработку современных правил для разрешения возникающих проблем.
Обучение и образование	Государственные учреждения могут предотвратить непреднамеренные финансовые нарушения, претворяя системные программы обучения, направленные на улучшение понимания сотрудниками финансовых правил. Регулярные семинары, обновления и доступные ресурсы могут помочь гарантировать, что сотрудники будут в курсе последних требований соответствия, снижая риск непреднамеренных нарушений. Продвижение культуры открытого общения, когда сотрудники чувствуют себя комфортно, обращаясь за советом по финансовым вопросам, может способствовать повышению бдительности и уступчивости сотрудников. Регулярные аудиты и мероприятия внутреннего контроля могут быть эффективными в распознавании и предотвращении гипотетических проблем до того, как они обострятся.
Дисциплинарные меры	В случаях, когда установлено, что финансовые нарушения является следствием умышленных неправомерных действий, аудиторский орган может рекомендовать соответствующие дисциплинарные меры в отношении лиц, ответственных за нарушения. Привлекая сотрудников к ответственности за свои действия, он посылает четкий сигнал о том, что такое поведение недопустимо, и дает возможность предупредить незаконные операции в перспективе. Установление и обеспечение соблюдения последствий умышленных финансовых нарушений – это важный компонент обеспечения добросовестности в государственных органах.

*Составлено автором на основе источника [13]

эта работа будет продолжена. Дальнейшие реформы могут включать в себя улучшение финансовой отчетности и прозрачности, введение международных стандартов бухгалтерского учета и аудита, укрепление правовой базы для обеспечения большей подотчетности и эффективности на всех уровнях власти.

Система внутреннего государственного финансового контроля в Казахстане построена на фундаменте широкомасштабного нормативно-правового основания, состоит из различных государственных органов, реализующих как исполнительные, так и надзорные функции. Для нее характерно сочетание централизованного надзора со стороны Министерства финансов с децентрализованным осуществлением процедур финансового контроля в министерствах и ведомствах и государственных учреждениях.

Экзогенный характер государственного аудита означает его независимость и внешнюю перспективу при проведении аудита. Высшая аудиторская палата не является частью исполнительной власти правительства и не подлежит прямому влиянию или контролю со стороны организаций, которые она проверяет. Эта независимость позволяет Высшей аудиторской палате предоставлять объективную и беспристрастную оценку финансовой деятельности государственных органов. Когда Высшая счетная палата завершает свою проверку, выводы и реко-

мендации могут существенно повлиять на результаты внутреннего государственного финансового контроля способами, которые отражены в таблице 3.

Таким образом, влияние выводов и рекомендаций Высшей счетной палаты на внутренний государственный финансовый контроль является глубоким, поскольку оно может привести к улучшению управления, прозрачности и финансовой целостности внутри проверяемой организации. Экзогенный характер государственного аудита Высшей аудиторской палаты позволяет ему предоставлять независимую и объективную оценку систем внутреннего государственного финансового контроля. Выявляя слабые места, способствуя подотчетности, направляя усилия по улучшению, повышая прозрачность и обеспечивая соблюдение требований, выводы и рекомендации Высшей аудиторской палаты существенно влияют на результаты внутреннего государственного финансового контроля и способствуют общему укреплению финансового управления в государственном секторе.

Процесс государственного аудита в Республике Казахстан, как и в любой стране, может сталкиваться с различными проблемами и проблемными аспектами, которые могут повлиять на его эффективность и надежность.

Некоторые из этих проблем могут включать в себя:

Независимость и объективность. Обеспечение независимости аудиторов от политического влияния имеет решающее значение. Любая предполагаемая необъективность может подорвать доверие к аудиту.

Масштаб и охват. Степень, в которой государственный аудит может охватить все аспекты государственных расходов и доходов, может быть ограничена, что потенциально может оставить некоторые области без контроля.

Качество данных. Надежность финансовых данных и записей имеет основополага-

Таблица 3 – Выводы и рекомендации Высшей счетной палаты, влияющие на результаты внутреннего государственного финансового контроля

Выводы и рекомендации	Разъяснение
Выявление слабых мест	Аудит может выявить слабые места в системах внутреннего контроля, что побудит организацию усилить свой контроль. К слабым местам относятся неадекватные процедуры бухгалтерского учета, отсутствие надлежащего разделения обязанностей и уязвимости для мошенничества. Подчеркивая эти проблемы, Высшая аудиторская палата помогает государственным ведомствам определить области, требующие улучшения, и усилить внутренний контроль.
Обеспечение соблюдения требований	Рекомендации могут обеспечить соблюдение финансовых правил и стандартов, гарантируя, что организация соблюдает требования законодательства. Выявляя проблемы несоблюдения требований, Высшая аудиторская палата побуждает государственные органы принять корректирующие действия и придерживаться установленных практик финансового управления.
Направление усилий по улучшению	Рекомендации содержат конкретные меры для государственных учреждений о том, как улучшить их системы внутреннего финансового контроля. Эти рекомендации могут помочь агентствам разработать и внедрить эффективные механизмы контроля, улучшить стратегии управления рисками и укрепить общее финансовое управление.
Повышение прозрачности и надежности	Аудиты повышают прозрачность, предоставляя независимую гарантию точности и надежности государственной финансовой информации. Такая прозрачность способствует доверию общества к финансовому управлению государственными учреждениями и способствует подотчетности.
Распределение ресурсов	Результаты аудита могут повлиять на распределение ресурсов, гарантируя их эффективное и результативное использование.
Подотчетность	Аудит способствует развитию культуры подотчетности, поскольку возлагает на отдельных лиц и подразделения ответственность за финансовые несоответствия или бесхозяйственность.

ющее значение для точного аудита. Неточные или неполные данные могут привести к ошибочным выводам аудита.

Возможности и опыт. Сложность государственных финансов требует наличия аудиторов с высоким уровнем знаний и опыта. Нехватка квалифицированного персонала может затруднить процесс аудита.

Обеспечение выполнения рекомендаций. Влияние аудита часто измеряется выполнением его рекомендаций. Если они не соблюдаются или не принимаются меры, ценность аудита снижается.

Прозрачность и общественное доверие. Чтобы завоевать доверие общественности, процесс аудита и его результаты должны быть прозрачными. Без прозрачности может возникнуть скептицизм в отношении выводов и намерений аудита.

Правовая база. Эффективность государственного аудита также зависит от прочной правовой базы, которая поддерживает мандат и полномочия аудиторского учреждения.

Решение этих проблем имеет важное значение для того, чтобы процесс государственного аудита функционировал как эффективный механизм надзора, который способствует подотчетности и прозрачности в управлении государственными средствами.

Заключение

В целом, если внутренний государственный финансовый контроль является частью управления и функционирования организации, обеспечивая надлежащее поведение и надежность ее деятельности, то внешний государственный финансовый контроль обеспечивает независимую проверку отчетности и соблюдения требований организации, обеспечивая ее публичную подотчетность. Оба вида контроля необходимы для эффективного управления и ответственного распоряжения государственными средствами.

Улучшение внутреннего государственного финансового контроля – это итеративное движение, что диктует неизменную приверженность и реагирование на внутренние и внешние преобразования. Равновесие между экономической эффективностью и силой контроля имеет важное значение; чрезвычайно строгий контроль может затруднить бизнес-процессы, тогда как слабый контроль может подвергнуть государственное учреждение неоправданному риску. Эффективный тренинг, управление рисками, культура добросовестности являются условиями гарантии незыблемой системы внутреннего государственного финансового контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bayyoud Mohammed, Sayyad NA. The Impact of Internal Control and Risk management on Banks in Palestine. International journal of Economics, Finance and Mangement Sciences. 2015; 3 (3):156-161. https://www.researchgate.net/publication/282451969_The_Impact_of_Internal_Control_and_Risk_Management_on_Banks_in_Palestine
2. Mohd-Sanusi Z, Mohamed N, Omar N, Mohd-Nassir MD. Effect of Internal control, fraud motives and experience in assessing likelihood of fraud risk. Journal lf Economics, Business and Management. 2015; 3 (2): 194-200. https://www.researchgate.net/publication/272908937_Effects_of_Internal_Controls_Fraud_Motives_and_Experience_in_Assessing_Likelihood_of_Fraud_Risk
3. Montri P, Sirisuthi C, Lammana P. A Study on Components of Internal Control – Based on Administrative Systems in Secondary Schools. Educational Research and Reviews. 2015; 10 (9): 2617-2623. https://www.researchgate.net/publication/287800148_A_study_on_components_of_internal_control_-_based_administrative_system_in_secondary_schools
4. Ho TV. The Research of factors affecting the effectiveness of internal control systems in commercial banks empirical evidence in Viet Nam. International Business Research. 2016; 9: 7. https://www.researchgate.net/publication/303976883_The_Research_of_Factors_Affecting_the_Effectiveness_of_Internal_Control_Systems_in_Commercial_Banks-empirical_Evidence_in_Viet_Nam
5. Muhamud HA. Internal auditing practices and internal control system in Somalia remittance firms. International journal of business and social science. 2013; 4 (4): 165-172. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2788357
6. Kae H. Chung, Hak Chong Lee, & Ku Hyun Jung. Korean Management: Global Strategy and Cultural Transformation. Berlin and New York: Walter de Gruyter, 1997. Pp. xiv+268. DM 158. https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.108 6/452534

7. Walsh, J. & Seward, J., «On the efficiency of internal and external corporate control mechanism» Academy of Management Review, vol. 15, no. 3, pp. 421-458, 1990. DOI: 10.5465/amr.1990.4308826.
8. Mavlutova, I., Babenko, V., Dykan, V., Prokopenko, N., Kalinichenko, S., Tokmakova, I. «Business Restructuring as a Method of Strengtening Company's Financial Position», Journal of Optimization in Industrial Engineering, vol. 14, no. 1, pp. 129-139, 2021. DOI: 10.22094/JOIE.2020.677839
9. Robert Keng'ara, Ibrahim Makina, «Effect of Budgetary Processes on Organizational Performance: A Case of Marine State Agencies, Kenya», Universal Journal of Accounting and Finance, Vol. 8, No. 4, pp. 115-130, 2020. DOI: 10.13189/ujaf.2020.080404.
10. Высшая аудиторская палата Республики Казахстан. https://www.gov.kz/memleket/entities/esep?lang=ru
11. Основные итоги деятельности Высшей аудиторской палаты за IV квартал и 12 месяцев 2022 года. https://www.gov.kz/memleket/entities/esep/documents/details/450932
12. Основные итоги аудиторской деятельности счетного комитета за II квартал и I полугодие 2022 года. https://www.gov.kz/memleket/entities/esep/documents/details/348327
13. Основные итоги деятельности высшей аудиторской палаты за первое полугодие 2023 года. https://www.gov.kz/memleket/entities/esep/documents/details/515862

Қазақстандағы ішкі мемлекеттік қаржылық бақылау жүйесі

АЙТМУКАНОВА Гульфара Майдановна, *магистр, аға оқытушы, aitmukanova82@mail.ru, «Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті» ЖЖКБМ, Н. Назарбаев даңғылы, 208, Орал, Қазақстан.*

Аңдатпа. *Мақаланың мақсаты – Қазақстандағы ішкі мемлекеттік қаржылық бақылау жүйесін қарастыру. Ішкі мемлекеттік қаржылық бақылаулар оның қаржылық қызметі мен ресурстарын бақылау және басқару үшін үкімет жүзеге асыратын процестерді, саясаттарды және процедураларды білдіреді. Ішкі мемлекеттік қаржылық бақылаудың мақсаты – алаяқтыққа, ысырапқа және мемлекет қаражатын мақсатсыз пайдалануға жол бермеу, қаржылық ережелер мен заң талаптарының сақталуын қамтамасыз ету. Оның қаржылық дұрыс басқарудың алдын алу, есеп беруді қамтамасыз ету, қаржылық тәртіпті нығайту, халықтың сенімін қорғау, алаяқтық пен сыбайлас жемқорлықты анықтау және алдын алу, экономикалық дамуды қолдаудағы рөлі мемлекеттік институттардың тиімді жұмыс істеуі және қоғамның жалпы әл-ауқаты үшін маңызды. Ішкі мемлекеттік қаржылық бақылау қаржылық операциялар мен есеп берудің ашықтығын талап ете отырып, мемлекеттік шенеуніктердің және қызметкерлердің арасындағы есеп беруге жәрдемдеседі. Жеке тұлғаларды өз әрекеттері мен шешімдері үшін жауапкершілікке тарту арқылы ішкі бақылау тетіктері мемлекеттік сектордағы адалдық және этикалық мінез-құлық мәдениетіне ықпал етеді. Транспаренттілікті, есептілікті және мемлекеттік ресурстарды жауапты басқаруды көрсете отырып, ішкі бақылау тетіктері халықтың үкіметке деген сенімін арттырады, инвесторлардың сенімін арттырады және экономикалық тұрақтылық пен дамуды қолдайды.*

Кілт сөздер: *мемлекеттік мүлік, ішкі мемлекеттік қаржылық бақылау, мемлекеттік органдар, Жоғары есеп палатасы.*

System of Internal State Financial Control in Kazakhstan

AITMUKANOVA Gulfara, *Master's Degree, Senior Lecturer, aitmukanova82@mail.ru, PHPEI «West Kazakhstan University of Innovation and Technology», 208 N. Nazarbayev Avenue, Oral, Kazakhstan.*

Abstract. *The purpose of the article is to examine the system of internal public financial control in Kazakhstan. Internal public financial control refers to the processes, policies and procedures implemented by the government to monitor and manage its financial activities and resources. The purpose of internal public financial control is to prevent fraud, embezzlement and misuse of public funds, and to ensure compliance with financial rules and legal require-*

ments. Its role in preventing poor financial management, ensuring accountability, strengthening financial discipline, protecting public confidence, detecting and preventing fraud and corruption, and supporting economic development is essential for the effective functioning of public institutions and the general welfare of society. Internal public financial control promotes accountability among public officials and employees by requiring transparency of financial transactions and reporting. By holding individuals accountable for their actions and decisions, internal controls promote a culture of integrity, honesty and ethical behaviour in the public sector. By demonstrating transparency, accountability and responsible management of public resources, internal controls increase public confidence in government, promote investor confidence and support economic stability and development.

Keywords: *state property, internal state financial control, state institutions, Supreme Audit Chamber.*

REFERENCES

1. Bayyoud Mohammed, Sayyad NA. The Impact of Internal Control and Risk management on Banks in Palestine. International journal of Economics, Finance and Mangement Sciences. 2015; 3 (3): 156-161. https://www.researchgate.net/publication/282451969_The_Impact_of_Internal_Control_and_Risk_Management_on_Banks_in_Palestine
2. Mohd-Sanusi Z, Mohamed N, Omar N, Mohd-Nassir MD. Effect of Internal control, fraud motives and experience in assessing likelihood of fraud risk. Journal lf Economics, Business and Management. 2015; 3 (2): 194-200. https://www.researchgate.net/publication/272908937_Effects_of_Internal_Controls_Fraud_Motives_and_Experience_in_Assessing_Likelihood_of_Fraud_Risk
3. Montri P, Sirisuthi C, Lammana P. A Study on Components of Internal Control – Based on Administrative Systems in Secondary Schools. Educational Research and Reviews. 2015; 10 (9): 2617-2623. https://www.researchgate.net/publication/287800148_A_study_on_components_of_internal_control_-_based_administrative_system_in_secondary_schools
4. Ho TV. The Research of factors affecting the effectiveness of internal control systems in commercial banks empirical evidence in Viet Nam. International Business Research. 2016; 9: 7. https://www.researchgate.net/publication/303976883_The_Research_of_Factors_Affecting_the_Effectiveness_of_Internal_Control_Systems_in_Commercial_Banks-empirical_Evidence_in_Viet_Nam
5. Muhamud HA. Internal auditing practices and internal control system in Somalia remittance firms. International journal of business and social science. 2013; 4 (4): 165-172. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2788357
6. Kae H. Chung, Hak Chong Lee, & Ku Hyun Jung. Korean Management: Global Strategy and Cultural Transformation. Berlin and New York: Walter de Gruyter, 1997. Pp. xiv+268. DM 158. https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.108 6/452534
7. Walsh, J. & Seward, J., «On the efficiency of internal and external corporate control mechanism», Academy of Management Review, vol. 15, no. 3, pp. 421-458, 1990. DOI: 10.5465/amr.1990.4308826.
8. Mavlutova, I., Babenko, V., Dykan, V., Prokopenko, N., Kalinichenko, S., Tokmakova, I. «Business Restructuring as a Method of Strengtening Company's Financial Position», Journal of Optimization in Industrial Engineering, vol. 14, no. 1, pp. 129-139, 2021. DOI: 10.22094/JOIE.2020.677839
9. Robert Keng'ara, Ibrahim Makina, «Effect of Budgetary Processes on Organizational Performance: A Case of Marine State Agencies, Kenya», Universal Journal of Accounting and Finance, Vol. 8, No. 4, pp. 115-130, 2020. DOI: 10.13189/ujaf.2020.080404.
10. Vysshaya auditorskaya palata Respubliki Kazahstan. https://www.gov.kz/memleket/entities/esep?lang=ru
11. Osnovnye itogi deyatel'nosti Vysshej auditorskoj palaty za IV kvartal i 12 mesyacev 2022 goda. https://www.gov.kz/memleket/entities/esep/documents/details/450932
12. Osnovnye itogi auditorskoj deyatel'nosti schetnogo komiteta za II kvartal i I polugodie 2022 goda. https://www.gov.kz/memleket/entities/esep/documents/details/348327
13. Osnovnye itogi deyatel'nosti vysshej auditorskoj palaty za pervoe polugodie 2023 goda. https://www.gov.kz/memleket/entities/esep/documents/details/515862

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_298 УДК 338.53

Влияние затрат перевозчиков и бюджетных субсидий на тарифную политику пассажирских перевозок общественного транспорта городов Астана и Алматы

***ЛУСТОВ Николай Сергеевич,** магистр, старший преподаватель, lustov@list.ru,
АКЕНОВ Серик Шакирович, к.э.н., доцент, serik_2006a@mail.ru,
МАГЗУМОВА Лаззат Кенжебековна, магистр, старший преподаватель, lazmag79@mail.ru,
УРАЗБЕКОВ Абай Каргашевич, к.э.н., доцент, urazbekovabay@mail.ru,
НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
*автор-корреспондент.

Аннотация. *Рассмотрена тарифная политика пассажирских перевозок на общественном транспорте городов Астана и Алматы. Актуальность данной тематики связана с тем, что вопросы субсидирования пассажирских перевозок на общественном транспорте играют значительную роль как для перевозчиков, так и для органов местной исполнительной власти. Целью статьи является исследование теоретических основ формирования тарифной политики городского пассажирского транспорта, а также уточнение важных факторов влияния на формирование тарифной политики предприятий городского пассажирского транспорта. При написании статьи использовались теоретические и эмпирические частные методы исследования: анализ, синтез информации, а также работа с литературой и документами, оценка результатов деятельности и наблюдение. Представлены действующие тарифы на общественном транспорте городов Астана и Алматы. В настоящее время в Республике Казахстан тарифы на услуги общественного пассажирского транспорта регулируются на основе отчетов о затратах перевозчиков и планируемой величины бюджетных субсидий на следующий год. Изучен опыт зарубежных стран по дифференциации тарифов на общественном транспорте. Выявлена необходимость к иному подходу формирования тарифа на проезд, учитывающая интересы трех участников рынка услуг общественного транспорта: пассажиров, перевозчиков и органов местной исполнительной власти.*

Ключевые слова: *пассажирский транспорт, общественный транспорт, инфраструктура, пассажиропоток, тарифы, тарифная политика, тарифообразование.*

Введение

К числу важнейших отраслей жизнеобеспечения городов относится пассажирский транспорт. Его преимуществами является высокая скорость передвижения, а также возможность поездок «от двери до двери», высокая мобильность, возможность в оперативном порядке реагировать на изменения пассажиропотоков и т.д. Все это выводит автотранспорт в разряд «вне конкуренции» при планировании местных передвижений пассажиров [1].

Государство во многих странах занимает активную позицию в регулировании транспортных тарифов. Установление стоимости проезда пассажиров (тарифа), соответствующего платежным возможностям населения, – находится в компетенции органов местной исполнительной власти.

Для определения основных проблем в развитии пассажирского транспорта и предоставления последующих рекомендаций по усовершенствованию транспортной инфраструктуры возникает необходимость исследования теоретических основ формирования тарифной политики городского пассажирского транспорта [2].

Методы исследования

Полное и качественное удовлетворение транспортных потребностей населения го-

родов Астана и Алматы является важной социально-экономической задачей. Организация транспортного обслуживания населения за последние годы претерпевает значительные изменения, тем не менее, еще остаются нерешенные проблемы в сфере обеспечения устойчивого функционирования городского пассажирского транспорта [3].

Целью статьи является исследование теоретических основ разработки стратегии тарифной политики общественного транспорта в городах Астана и Алматы, а также важных факторов, влияющих на формирование тарифной политики предприятий городского пассажирского транспорта.

В соответствии с поставленной целью задачами данного исследования являются:

1) провести сравнительный анализ транспортных тарифов в городах Астана и Алматы;

2) определить факторы влияния на формирование тарифной политики городского пассажирского транспорта в городах Астана и Алматы;

3) изучить зарубежный опыт в формировании тарифной политики для улучшения системы тарификации общественного транспорта в городах Астана и Алматы;

4) дать рекомендации по оптимизации тарифной политики городского пассажирского транспорта в городах Астана и Алматы.

Тарифная политика должна обеспечивать бесперебойную работу городского пассажирского транспорта для обеспечения предоставления повседневных транспортных услуг, а также защищать интересы льготной категории населения. В целом тарифная политика должна быть нацелена на обеспечение интересов населения и транспортных предприятий.

Тарифы на регулярные социально значимые перевозки пассажиров устанавливаются местными исполнительными органами. Тарифы по решению местных исполнительных органов дифференцируется в зависимости от вида маршрута, вида проездного билета, способа платежа, а также расстояния перевозок или количества проезженных остановочных пунктов. Если установленные тарифы не обеспечивают рентабельность перевозок пассажиров, местные исполнительные органы субсидируют убытки перевозчиков в соответствии с законодательством Республики Казахстан.

При написании статьи использовались теоретические и эмпирические частные методы исследования: анализ, синтез информации, а также работа с литературой и документами, оценка результатов деятельности и наблюдение.

Научные результаты

В настоящее время столица Республики Казахстан Астана является одним из густонаселенных регионов страны. Состояние транспортной инфраструктуры города, определяющее интенсивность экономических связей между частями и элементами пространства, характеризуется как проблемное. Одной из основных причин является старая градостроительная и архитектурная планировка города Астаны, в советское время не рассчитанная на современный рост урбанизации [4].

Стоимость проезда в столичных автобусах не менялась с 2012 года, составляет 90 тенге для взрослых пассажиров и была зафиксирована до конца 2023 года (таблица). В 2024 году тариф пересматривается в сторону его увеличения.

Стоимость проезда на общественном транспорте в Астане может достигнуть 400 тенге, если местные исполнительные органы прекратят субсидирование этой отрасли. Из бюджета Астаны на субсидирование автобусных парков направляется около 30 млрд тенге в год.

Принадлежащая столичному акимату компания City Transportation Systems (CTS) в 2023 году повысила зарплаты водителям автобусов по сравнению с 2022 годом на 56%, увеличила расходы на дизтопливо на 20%. Проверки оплаты пассажирами проезда, проведенные компанией CTS, показали, что каждый пятый пассажир не платит за проезд.

Тарифы пассажирских перевозок общественного транспорта города Астана на начало 2024 года

Маршруты	Оплата транспортной картой		Оплата наличными	
	Взрослый	Детский	Взрослый	Детский
Город	90 тг	0 тг	180 тг	90 тг
Экспресс	180 тг	0 тг	250 тг	125 тг
Пригород	90 тг и выше в зависимости от зоны	0 тг	180 тг и выше в зависимости от зоны	90 тг и выше в зависимости от зоны

Вопрос повышения тарифа на общественном транспорте либо увеличения субсидирования со стороны уполномоченного органа рассматривается из-за дефицита автобусов, роста цен на горюче-смазочные материалы, запчасти, недостаточного количества водителей.

В настоящее время в столице Казахстана дефицит автобусов составляет 40%, несмотря на то, что в 2023 году было закуплено 400 автобусов, которые позволили запустить новые маршруты, увеличить количество автобусов на линии и обновить часть устаревшего подвижного состава.

Цена на горюче-смазочные материалы, запчасти за последние 10 лет значительно увеличилась. К примеру, стоимость дизельного топлива увеличилась на 275%. Аналогичная ситуация и по остальным расходам, включая стоимость автобусов.

По данным ведущего пассажирского перевозчика Астаны – компании CTS, в 2024 году в автобусных парках столицы работают 1 852 водителя. При этом потребность города составляет 2 912 человек. Таким образом, дефицит водительского состава составил 1060 человек.

Частично решить проблемы пассажирских перевозок общественного транспорта помогает проект «buslane». Проект «buslane» подразумевает специально выделенную полосу на проезжей части, которая предназначена для беспрепятственного движения общественного транспорта. Цель данного проекта – создание условий для комфортной поездки пассажиров и передачи приоритета движению общественного транспорта [5].

Данный проект оказывает существенное влияние на тарифную политику общественного транспорта городов Астана и Алматы. Он помогает повысить эффективность перевозок за счёт сокращения времени в пути и увеличения средней скорости движения общественного транспорта, что позволяет снизить эксплуатационные расходы, так как автобусы могут выполнять больше рейсов за тот же период времени, уменьшая затраты на топливо и обслуживание. Также повышенная скорость и надежность общественного транспорта привлекает больше пассажиров, что приводит к росту доходов транспортных компаний.

В городе Алматы слабым местом в организации общественного транспорта являются наименьшие структурные единицы – маршруты, рентабельность которых не удовлетворяет потребности населения города.

Обеспечение возрастающих потребностей населения, наряду с реконструкцией и новым строительством на территориях со сложившей застройкой, предполагает расширение городских площадей и присоединение земель Карасайского, Илийского и Талгарского районов Алматинской области. В связи с этим, ожидается повышенная нагрузка на транспортный сектор г. Алматы [6].

Постоянно идёт работа по улучшению транспортно-эксплуатационных характеристик существующих дорог и прочности дорожного полотна, строятся и открываются новые развязки для увеличения пропускной способности. В частности, запущены выделенные полосы для общественного транспорта протяжённостью 96 километров. Это позволило увеличить среднюю скорость движения подвижного состава в 1,5 раза, а пассажиропоток – на 30% [7].

Запуск выделенных полос для общественного транспорта протяжённостью 96 километров в Астане и Алматы оказал значительное влияние на политику пассажирских перевозок, способствуя снижению эксплуатационных затрат за счёт увеличения средней скорости движения, что позволило сократить расходы на топливо и техническое обслуживание. Рост пассажиропотока на 30% увеличил доходы транспортных компаний, что помогло избежать повышения тарифов. Повышенная скорость и надёжность общественного транспорта улучшили качество услуг и привлекли больше пассажиров, делая общественный транспорт конкурентоспособным по сравнению с личными автомобилями, что снизило дорожные заторы.

Основная характерность движения в Алматы выглядит так: в утренние часы из спальных районов в центр города и в вечерние часы в обратном направлении, а также из близлежащих населенных пунктов в город Алматы и обратно [8].

В 2023 году в силу вступило постановление о новых тарифах на проезд в общественном транспорте Алматы.

Согласно введенному в действие постановлению акима города Алматы, тарифы на регулярные социально значимые перевозки пассажиров мегаполиса (в автобусах, троллейбусах и метро) в зависимости от способа платежа теперь установлены в следующих размерах:

- при безналичной оплате посредством услуг оператора сотовой связи, транспортной карты или мобильного приложения – 100 тенге;

- при оплате за проезд наличными деньгами – 200 тенге. Льготные категории горожан при этом по-прежнему платят меньше.

Льготы на проезд в общественном транспорте для некоторых казахстанцев устанавливаются как на республиканском, так и на местных уровнях. Например, согласно зако-

ну РК «Об автомобильном транспорте», дети до семи лет могут ездить в городском общественном транспорте бесплатно, а до 18 лет – со скидкой 50%.

Затраты перевозчиков как Алматы, так и Астаны постоянно растут. Данное утверждение не подразумевает, что в других регионах Казахстана динамика затрат обратная. Рост затрат на перевозки характерен для всех регионов страны, что обусловлено общими экономическими факторами, такими как рост цен на топливо, запасные части, техническое обслуживание и ремонт, а также увеличение заработной платы водителей. В 2012 году стоимость дизельного топлива составляла 90 тенге, в 2023 г. – 295 тенге. Стоимость газа в 2012 году составляла 33 тенге, в 2023 г. – 108 тенге. Аналогичная ситуация и по остальным расходам, таким как стоимость автобусов, шин, смазочных материалов, технического обслуживания и ремонта автобусов и т.д. Смазочные материалы подорожали на 140%, запасные части – на 230%, авторезина – на 273%, автобусы – на 330%, заработная плата водителей возросла на 292%.

В этой связи текущий тариф не покрывает расходов перевозчиков, так как реальная стоимость проезда в 3 раза выше утвержденного. В этой связи акимат ежемесячно покрывает расходы перевозчиков в виде субсидий. За период 2020-2022 годов сумма выплаченных субсидий составила 115,8 миллиарда тенге.

В 2022 году из фактически выделенных местными исполнительными органами 113 млрд тенге 55 млрд пришлись на Алматы, 15 млрд – на Шымкент и далее по убывающей.

В 2023 году по Казахстану на субсидирование социально значимых городских автобусных маршрутов было выделено порядка 216 млрд тенге.

Если в 2017 году субсидии транспортникам Алматы составляли 300 млн тенге в год, то в 2023 году сумма стала почти астрономической – порядка 85 млрд тенге. Это колоссальная нагрузка на бюджет, который формируется в том числе из налогов алматинцев, чьи поступления формируют и львиную долю, 28%, республиканского бюджета.

Тариф в 80 тенге существовал с 2012 года, а реальная стоимость проезда, без учета субсидий по текущему методу расчета, составляет 425 тенге. Всего же общественным транспортом пользуются до 1,4 млн человек в день. То есть до повышения тарифа с учётом расходов на покупку нового транспорта, его содержания, обслуживания и выхода на линии, поездка стоила 425 тенге, при этом фактически пассажир платил 80, а 345 тенге доплачивалось из городской казны.

Важно изучать не только внутринациональные способы и подходы к формированию стоимости проезда, но и уделять должное внимание опыту зарубежных стран с целью поиска максимально рационального подхода к ценообразованию и изучения возможных последствий как позитивного, так и негативного характера, влияющих на спрос пассажиров.

Одним из самых известных способов формирования цен на транспорт за рубежом является их дифференциация. Для изучения опыта зарубежных стран рассмотрим такие страны и города, как: Германия (Берлин), Австрия (Вена), Польша (Варшава), Чехия (Прага), Великобритания (Лондон) и Франция (Париж).

Так, в Берлине представлена широчайшая система тарифов на услуги общественного транспорта, включающая отдельные зоны (A, B и C), и виды билетов. В тарифном меню Берлина утверждены как разовые, суточные билеты и месячные билеты, так и годовой проездной, а также билеты на проезд для велосипедистов и другие. Каждый из утвержденных в тарифном меню билетов действует в определенной зоне и стоимость на него изменяется в зависимости от нее [9].

Зонирование маршрутов общественного транспорта представлено также в Вене, Праге и Варшаве.

В столице Австрии в первой зоне находится центр города, а во второй – отдаленные от центра районы, включая аэропорт, соответственно стоимость проезда будет отличаться в зависимости от количества выбранных зон.

В Праге общественный транспорт разделен на 2 зоны: зону P – все виды транспорта, включая паромы и некоторые участки железной дороги; зону 0 – пригородные автобусы и некоторые участки железной дороги.

В Варшаве общественный транспорт также разбит на 2 основные зоны (Strefa 1 и Strefa 2) и предлагает различные билеты в зависимости от времени поездки.

Также помимо дифференциации по зонам и многоуровневой тарификации встречается иное разбиение стоимости проезда. В Лондоне стоимость проезда отличается в зависимости от метода оплаты: наличными, по проездному документу или банковской карте и часа-пик, в Париже стоимость проезда отличается также от времени суток: ночью проезд в общественном транспорте стоит выше, чем днем.

Выводы

Все вышеперечисленные проблемы, требуют незамедлительных решений в будущем, так как с развитием и ростом урбанизации Астаны и Алматы они могут привести

к неблагоприятным последствиям как в экономическом плане, так и социальных отношениях.

Анализируя научные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Субсидирование сферы городских пассажирских перевозок играет значительную роль в определении стоимости проезда и доступности транспорта для населения. Отказ от увеличения субсидий может привести к росту цен на проезд и снижению доступности общественного транспорта для широких слоев населения.

2. Повышение зарплат водителям автобусов и увеличение расходов на дизтопливо приводит к увеличению операционных расходов для перевозчиков, что в свою очередь требует роста стоимости проезда.

3. Недостаточная пропускная способность улиц и дефицит автобусов ведут к проблемам перегруженности и неудовлетворенности пассажиров. Разработка и внедрение проектов, таких как «buslane» в Астане, способствует решению этих проблем, оптимизируя движение общественного транспорта и повышая его эффективность.

4. Увеличение тарифов на общественный транспорт или увеличение субсидирования со стороны государства требует комплексного подхода и учета различных факторов, таких как инфляция, экономические показатели и социальные нужды населения.

5. Многоуровневая тарификация, такая как в Берлине, Вене, Праге, Варшаве, Лондоне и Париже, представляет собой эффективный подход, который учитывает различные факторы, такие как зоны и время суток, что может быть применено и в контексте городов Астана и Алматы.

Таким образом, для оптимизации тарифной политики городского пассажирского транспорта в городах Астана и Алматы необходимо разработать систему тарифов, учитывающую интересы всех участников рынка услуг общественного транспорта: пассажиров, перевозчиков, органов местной исполнительной власти. Различные зоны и время суток, аналогично опыту европейских стран, позволят более справедливо распределить стоимость проезда в зависимости от дистанции и времени пользования услугами общественного транспорта.

Ведение систематического мониторинга и анализа эффективности внедренных мероприятий позволит своевременно корректировать тарифную политику в соответствии с изменяющимися потребностями и требованиями населения.

Необходимо отметить, что мероприятия, предлагаемые для решения заявленных проблем, носят рекомендательный характер, поэтому требуется обсуждение проблемы с представителями местных исполнительных органов и с иными заинтересованными лицами. Окончательное определение необходимых мероприятий будет возможным только после обсуждения проблемы с участием всех заинтересованных лиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садыков Ж.А. Анализ транспортной инфраструктуры столицы (на примере туристского кластера «Астана») / Ж.А. Садыков // Каржы – Финансы. – 2020. – № 4 (50). – С. 78-89.
2. Селезнева Н.А. Тарифная политика на пассажирских перевозках / Н.А. Селезнева, А.А. Зянчурин // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса: Материалы V международной научно-практической конференции, Горловка, 22 мая 2019 года. – Горловка: АДИ ДОННТУ, 2019. – С. 381-385.
3. Тюлюбаева Д.М. Тенденции и концепции развития общественного пассажирского транспорта города Алматы / Д.М. Тюлюбаева, Ж.К. Кегенбеков, Л.Р. Сухоставская // Логистика – евразийский мост: Материалы XIII Международной научно-практической конференции, Красноярск, 25-29 апреля 2018 года. Том Часть 1. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2018. – С. 243-248.
4. Гамолина С.С. Анализ маршрутной сети города Алматы по организации пассажиропотока / С.С. Гамолина, К.Ю. Бадябина // Логистика – евразийский мост: Материалы XIV Международной научно-практической конференции, Красноярск, 24-29 апреля 2019 года. Часть 1. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2019. – С. 510-513.
5. Тюлюбаева Д.М. Разработка маршрутов для пользователей услуги «Carpool» на основе подвижности населения г. Алматы / Д.М. Тюлюбаева, А.Д. Бахарева // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2019. – № 59. – С. 138-145.
6. Молгаждаров А.С. Основные аспекты и проблемы пассажирского транспорта города Алматы / А.С. Молгаждаров, М.М. Базарбекова // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им.

М. Тынышпаева. – 2018. – № 3 (106). – С. 96-106.
7. Проблемы транспортной системы города Астаны и возможные пути их решения / С. Адай, О.Б. Мазбаев, А.Ж. Амиржановна, Ж.Е. Сериковна // International Scientific and Practical Conference World science. – 2016. – Т. 2, № 8 (12). – С. 42-46.
8. Войтенков С.С. Развитие системы общественного транспорта города Нур-Султан / С.С. Войтенков, А.Б. Мустафина // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: Сборник материалов III Национальной научно-практической конференции, Омск, 23-24 апреля 2020 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2020. – С. 187-196.
9. Баранова Г.Н. Зарубежный опыт дифференциации тарифов на общественном транспорте / Г.Н. Баранова // ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА: ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ И МЕХАНИЗМЫ РЕШЕНИЯ: сборник статей Международной научно-практической конференции, Ижевск, 15 сентября 2019 года. – Ижевск: Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна», 2019. – С. 5-8.

Тасымалдаушылар шығындарының және бюджеттік субсидиялардың Астана және Алматы қалаларының қоғамдық көліктерінің жолаушылар тасымалдарының тарифтік саясатына әсері

***ЛУСТОВ Николай Сергеевич,** магистр, аға оқытушы, lustov@list.ru,
АКЕНОВ Серик Шакирович, э.ғ.к., доцент, serik_2006a@mail.ru,
МАГЗУМОВА Лаззат Кенжебековна, магистр, аға оқытушы, lazmag79@mail.ru,
УРАЗБЕКОВ Абай Каргашевич, э.ғ.к., доцент, urazbekovabay@mail.ru,
«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
автор-корреспондент.

***Аңдатпа.** Астана және Алматы қалаларының қоғамдық көліктеріндегі жолаушылар тасымалының тарифтік саясаты қарастырылған. Бұл тақырыптың өзектілігі қоғамдық көліктерде жолаушылар тасымалын субсидиялау мәселелері тасымалдаушылар үшін де, жергілікті атқарушы билік органдары үшін де маңызды рөл атқаратындығына байланысты. Мақаланың мақсаты – қалалық жолаушылар көлігінің тарифтік саясатын қалыптастырудың теориялық негіздерін зерттеу, сондай-ақ қалалық жолаушылар көлігі кәсіпорындарының тарифтік саясатын қалыптастыруға әсер ететін маңызды факторларды нақтылау. Мақаланы жазу кезінде зерттеудің теориялық және эмпирикалық жеке әдістері қолданылды: талдау, ақпарат синтезі, әдебиеттер, құжаттармен жұмыс, қызмет нәтижелерін бағалау және бақылау. Астана және Алматы қалаларының қоғамдық көліктерінде қолданыстағы тарифтер ұсынылған. Қазіргі уақытта Қазақстан Республикасында қоғамдық жолаушылар көлігі қызметтеріне тарифтер тасымалдаушылардың шығындары туралы есептер және келесі жылға арналған бюджеттік субсидиялардың жоспарланған шамасы негізінде реттеледі. Қоғамдық көліктегі тарифтерді саралау бойынша шет елдердің тәжірибесі зерделенді. Қоғамдық көлік қызметтері нарығының үш қатысушысының: жолаушылардың, тасымалдаушылардың және жергілікті атқарушы билік органдарының мүдделерін ескеретін жол жүру тарифін қалыптастырудың өзге тәсіліне қажеттілік анықталды.*

Кілт сөздер: жолаушылар көлігі, қоғамдық көлік, инфрақұрылым, жолаушылар ағыны, тарифтер, тарифтік саясат, тарифтер.

The Impact of Carrier Costs and Budget Subsidies on the Tariff Policy of Passenger Transportation of Public Transport in Astana and Almaty

***LUSTOV Nikolay,** Master's Degree, Senior Lecturer, lustov@list.ru,
AKENOV Serik, Cand. of Econ. Sc., Associate Professor, serik_2006a@mail.ru,
MAGZUMOVA Lazzat, Master's Degree, Senior Lecturer, lazmag79@mail.ru,
URAZBEKOV Abay, Cand. of Econ. Sc., Associate Professor, urazbekovabay@mail.ru,
NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,

*corresponding author.

Abstract. *The article considers the tariff policy of passenger transportation on public transport in Astana and Almaty. The relevance of this topic is related to the fact that the issues of subsidizing passenger transportation on public transport play a significant role both for carriers and for local executive authorities. The purpose of the article is to study the theoretical foundations of the formation of the tariff policy of urban passenger transport, as well as to clarify the important factors influencing the formation of the tariff policy of urban passenger transport enterprises. When writing the article, theoretical and empirical private research methods were used: analysis, synthesis of information, as well as work with literature and documents, evaluation of performance and observation. The current tariffs for public transport in Astana and Almaty are presented. Currently, in the Republic of Kazakhstan, tariffs for public passenger transport services are regulated on the basis of reports on the costs of carriers and the planned amount of budget subsidies for the next year. The experience of foreign countries in differentiating tariffs on public transport has been studied. The need for a different approach to fare formation has been identified, taking into account the interests of three participants in the public transport services market: passengers, carriers and local executive authorities.*

Keywords: *passenger transport, passengers, transport, public transport, infrastructure, passenger traffic, tariffs, tariff policy, tariff formation.*

REFERENCES

1. Sadykov Zh.A. Analiz transportnoj infrastruktury stolicy (na primere turistskogo klastera «Astana») / Zh.A. Sadykov. Karzhy – Finansy. – 2020. – № 4 (50). – Pp. 78-89.
2. Selezneva N.A. Tarifnaja politika na passazhirskih perevozkah / N.A. Selezneva, A.A. Zjanchurin. Nauchno-tehnicheskie aspekty razvitija avtotransportnogo kompleksa: Materialy V mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Gorlovka, 22 maja 2019 goda. – Gorlovka: ADI DONNTU, 2019. – Pp. 381-385.
3. Tjuljubaeva D.M. Tendencii i koncepcii razvitija obshhestvennogo passazhirskogo transporta goroda Almaty / D.M. Tjuljubaeva, Zh.K. Kegenbekov, L.R. Suhostavskaja. Logistika – evrazijskij most: materialy XIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Krasnojarsk, 25-29 aprelja 2018 goda. Tom Chast' 1. – Krasnojarsk: Krasnojarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2018. – Pp. 243-248.
4. Gamolina S.S. Analiz marshrutnoj seti goroda Almaty po organizacii passazhiropotoka / S.S. Gamolina, K.Ju. Badjabina. Logistika – evrazijskij most: Materialy XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Krasnojarsk, 24-29 aprelja 2019 goda. Tom Chast' 1. – Krasnojarsk: Krasnojarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2019. – Pp. 510-513.
5. Tjuljubaeva D.M. Razrabotka marshrutov dlja pol'zovatelej uslugi «Carpool» na osnove podvizhnosti naselenija g. Almaty / D.M. Tjuljubaeva, A.D. Bahareva. Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. – 2019. – № 59. – Pp. 138-145.
6. Molgazhdarov A.S. Osnovnye aspekty i problemy passazhirskogo transporta goroda Almaty / A.S. Molgazhdarov, M.M. Bazarbekova. Vestnik Kazahskoj akademii transporta i kommunikacij im. M. Tynyshpaeva. – 2018. – № 3 (106). – Pp. 96-106.
7. Problemy transportnoj sistemy goroda Astany i vozmozhnye puti ih reshenija / S. Adaj, O.B. Mazbaev, A.Zh. Amirzhanovna, Zh.E. Serikovna. International Scientific and Practical Conference World science. – 2016. – T. 2, № 8 (12). – Pp. 42-46.
8. Vojtenkov S.S. Razvitie sistemy obshhestvennogo transporta goroda Nur-Sultan / S.S. Vojtenkov, A.B. Mustafina. Obrazovanie. Transport. Innovacii. Stroitel'stvo: Sbornik materialov III Nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii, Omsk, 23-24 aprelja 2020 goda. – Omsk: Sibirskij gosudarstvennyj avtomobil'no-dorozhnyj universitet (SibADI), 2020. – Pp. 187-196.
9. Baranova G.N. Zarubezhnyj opyt differenciacii tarifov na obshhestvennom transporte / G.N. Baranova. CIFROVAJa JeKONOMIKA: PROBLEMY RAZVITIJa I MEHANIZMY REShENIJa: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Izhevsk, 15 sentjabrja 2019 goda. – Izhevsk: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju «Ajeterna», 2019. – Pp. 5-8.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_305 ӘОЖ 332.05

Өңірлік экономикалық дамудың қаржылық тұрақтылығын бағалауда факторлық талдауды қолдану: Қарағанды облысы деректері негізінде

[1]**РАХИМБЕРДИНОВА Мадина Умаргалиевна,** *PhD, профессор, MRakhimberdinova@edu.ektu.kz,*
[2]***МАЗИНА Айнур Курметовна,** *PhD, аға оқытушы, mazina_ainur@mail.ru,*
[3]**ИСКАКОВА Айжан Сунгатовна,** *докторант, aazzzlx@icloud.com,*
[2]**ОМАРОВА Айнура Тояковна,** *PhD, профессор, ainuraphd@mail.ru,*
[3]**ОМАРОВА Махабат Толеуовна,** *PhD, кафедра меңгерушісі, omarmakhabat99@gmail.com,*
[1]«Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КеАҚ, Д. Серікбаев көшесі, 19, Өскемен, Қазақстан,
[2]«Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті» КеАҚ, Университет көшесі, 28, Қарағанды, Қазақстан,
[3]Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті, Академическая көшесі, 9, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Жаһандық турбуленттілік пен Қазақстан экономикасындағы құрылымдық өзгерістер жағдайында өңірлердің қаржылық базасының тұрақтылығы стратегиялық маңызға ие болып отыр. Ірі индустриялық орталық ретінде Қарағанды облысы елеулі экономикалық нәтижелер көрсеткенімен, салалық шоғырланудың жоғары деңгейі, экономиканың жеткіліксіз әртараптандырылуы және инфрақұрылымның тозуы салдарынан белгілі бір осалдықтарға тап болады. Зерттеудің мақсаты – 2013-2024 жылдар аралығындағы деректер негізінде Қарағанды облысының қаржылық тұрақтылығын айқындайтын әлеуметтік-экономикалық детерминанттарды анықтау және сандық тұрғыдан бағалау, сондай-ақ факторлық талдау мен регрессиялық модельдеу әдістеріне сүйене отырып, оны бағалау мен мониторингтеудің практикалық-бағдарланған әдістемесін әзірлеу және экономиканы әртараптандыру мен стратегиялық басқаруды оңтайландыруға арналған ұсынымдар қалыптастыру. Зерттеу барысында салыстырмалы және құрылымдық талдау әдістері, сондай-ақ экономикалық-математикалық модельдеу қолданылды. Құрылған факторлық модель жалпы өңірлік өнімнің өсуіне ықпал ететін басым факторларды анықтады: негізгі капиталға инвестициялар, шағын және орта бизнестің дамуы, жұмыспен қамту деңгейі және өндірістің физикалық көлем индексі. Ұсынылған тәсіл өңірлік даму стратегияларын әзірлеуде және инвестициялық саясатты оңтайландыруда қолданылуы мүмкін. Талдау нәтижелері инвестициялық белсенділікті күшейту, кәсіпкерлікті қолдау және өндірістік базаны жаңғырту Қарағанды облысының ұзақ мерзімді қаржылық тұрақтылығын қамтамасыз етудің негізгі шарттары болып табылатынын көрсетті.*

Кілт сөздер: *қаржылық тұрақтылық, өңірлік даму, стратегия, инвестициялар, жаңғырту, инвестициялық белсенділік.*

Кіріспе

Жаһандық трансформациялар мен Қазақстан экономикасын жаңғырту жағдайында өңірлердің қаржылық тұрақтылығы ұзақ мерзімді дамудың негізгі шарты болып табылады. Ірі индустриялық орталық ретінде Қарағанды облысы елдің жалпы өңірлік өнімін қалыптастыруға елеулі үлес қосады, алайда шикізаттық салаларға тәуелділік, баға конъюнктурасының құбылмалылығы және экономиканың жеткіліксіз әртараптандырылуы салдарынан белгілі бір осалдықтарды сақтап отыр. Қаржылық тұрақтылық жалпы өңірлік өнімнің тұрақты өсуін қамтамасыз ету, бюджетті теңгерімдеу және сыртқы экономикалық факторлардың теріс ықпалын төмендету

қабілеті арқылы айқындалады. Факторлық талдауды қолдану өңірдің қаржылық тұрақтылығын айқындайтын негізгі детерминанттарды анықтауға, сондай-ақ экономиканы әртараптандыру және стратегиялық басқаруды оңтайландыру бойынша ғылыми негізделген ұсынымдар қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Ғылыми әдебиеттерге шолу

Қаржылық тұрақтылық қаржылық жүйенің елеулі іркілістерге ұшырамай, қаржылық делдалдықтың үздіксіз қызметін және жинақтардың өндірістік инвестицияларға тиімді бөлінуін қамтамасыз ете отырып, түрлі күйзелістерге төтеп беру қабілетін сипаттайтын жағдай ретінде қарастырылады [1].

Қаржылық тұрақтылық жергілікті экономикалық дамуға оң ықпал етеді, әрі бұл нәтижелер қаржылық тұрақтылықты бағалауда кеңінен қолданылатын көрсеткіштерді, атап айтқанда меншікті капиталдың рентабельділігі мен активтердің рентабельділігін, сондай-ақ қаржылық осалдықты бейнелейтін баламалы айнымалыларды пайдалану жағдайында да өзінің тұрақтылығын сақтайды [2], [3].

Шешімдерді талдау деректерді талдау арқылы күрделі мәселелерді шешуге және шешім қабылдау үдерістерін ғылыми негізде қолдауға бағытталған сандық әдістерді қолдануды көздейді [4]. Тұрақты даму контекстінде шешімдерді талдау білім беру саласын қоса алғанда [5], шағын және орта кәсіпорындарда цифрлық және циркулярлық стратегияларды интеграциялау [6], тұрақты және цифрлық бизнес-модельдерді қалыптастыру [7], ауылдық қауымдастықтар, стартаптар, сондай-ақ білім беру ұйымдарындағы орнықты қауымдастықтарды дамыту сияқты көптеген бағыттарда кеңінен пайдаланылады [8].

Тұрақтылық қазіргі қоғамның аса маңызды аспектілерінің біріне айналды, ал ғылыми әдебиеттерде жеке тұлғалар мен өндірістік контексттер арасындағы өзара іс-қимылға, цифрлық инновациялардың атқаратын рөліне, тұрақтылықтың маңыздылығына, сондай-ақ әртүрлі мүдделі тараптар санаттарын ескере отырып, осы үдерістердің кешенді сипатына ерекше назар аударылады [9].

Зерттеу әдістері

Зерттеудің мақсатына қол жеткізу үшін өзара толықтыратын әдістердің кешені қолданылды. Факторлық талдау өңірдің қаржылық тұрақтылығына әсер ететін негізгі әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштерді анықтау және олардың ықпалын бағалау мақсатында пайдаланылды. Салыстырмалы талдау Қарағанды облысының көрсеткіштер динамикасын басқа өңірлермен салыстыруға мүмкіндік беріп, экономиканың күшті және әлсіз жақтарын айқындады. Құрылымдық талдау жалпы өңірлік өнімнің салалық құрылымын және жекелеген секторларға тәуелділік деңгейін бағалау үшін қолданылды. 2013–2024 жылдар аралығындағы уақыттық қатарлардың динамикалық талдауы негізгі үрдістерді, циклдік ауытқуларды және дағдарыстық кезеңдерді анықтауға жағдай жасады. Эконометрикалық модельдеу факторлардың жалпы өңірлік өнімге ықпалын сандық тұрғыдан бағалау мақсатында корреляциялық матрицалар мен регрессиялық теңдеулерді құруды қамтыды. Талдау және синтез әдістері алынған нәтижелерді жүйелі түрде интерпретациялауға және өңірдің қаржылық тұрақтылығын нығайтуға бағытталған кешенді ұсынымдар қалыптастыруға мүмкіндік берді.

Ғылыми нәтижелер

Қазақстан Республикасындағы экономикалық нәтижелердің өңірлік айырмашылықтары мұнай өндіруші облыстар (Атырау, Маңғыстау) мен аграрлық өңірлер арасында айқын көрініс табады. Мұнай өндіруші өңірлер жоғары бюджеттік профицит қалыптастырып, инфрақұрылымды дамытуға елеулі қаржы ресурстарын бағыттау мүмкіндігіне ие болса, аграрлық аймақтар көбінесе республикалық бюджеттен бөлінетін трансферттерге тәуелді болып келеді. 2013–2024 жылдар аралығындағы кезеңде Қарағанды облысын сипаттайтын көрсеткіштерді қарастырайық. Бұл тұрғыда жалпы өңірлік өнім өңірдің экономикалық даму деңгейі мен қаржылық тұрақтылығын бейнелейтін негізгі индикаторлардың бірі болып табылады. Оның динамикасы экономиканың барлық салаларының қызмет ету нәтижелерін, ресурстарды пайдаланудың тиімділігін, инвестициялық белсенділік деңгейін және аумақтың бәсекеге қабілеттілігін кешенді түрде интеграциялайды (1-кесте).

2013-2024 жылдар аралығындағы уақыт кезеңін және айнымалылар жиынтығын таңдау келесі аспектілермен негізделеді:

- 12 бақылаудың болуы негізгі статистикалық тексерулерді жүргізуге, сондай-ақ орташа жылдық өсім қарқынын (CAGR) және құрылымдық өсім көрсеткіштерін есептеуге ең төменгі жеткілікті шекті қамтамасыз етеді; қысқа уақыттық қатар статистикалық қуаттың төмендеуіне алып келер еді;

- 2010-жылдардың басынан бастап Қазақстанда өңірлік жалпы өңірлік өнім, жалпы қосылған құн, инвестициялар, жұмыспен қамту және шағын және орта бизнес көрсеткіштері салыстырмалы әдістемелер мен бірізді мерзімділік негізінде қалыптастырылады, бұл іріктеме ішінде «әдіснамалық үзілістердің» туындау тәуекелін төмендетеді;

- 2013-2024 жылдар кезеңінде Қарағанды өңірі бойынша жалпы өңірлік өнім, ин-

1-кесте – Қарағанды өңірін сипаттайтын көрсеткіштер

Жыл	ЖӨӨ, млн теңге У	ЖӨӨ жан басына шаққанда, мың теңге Х1	ЖӨӨ-нің физикалық көлем индексі, өткен жылдың сәйкес кезеңіне пайызбен (%) Х2	Бір жұмыспен қамтылған адамға шаққандағы ЖҚҚ, мың теңге Х3	Негізгі капиталға инвестициялар, мың теңге Х4	ШОБ субъектілерінің өнім өндіру көлемі, млн теңге Х5
2013	2621888,8	1919,1	107,5	3240,3	405015132	533525
2014	2899976,8	2110,6	103,2	3810,7	411851992	660777
2015	3107085,6	2248,9	102,7	4044,9	343351103	717269
2016	3712055,9	2682,6	102,4	4836,1	317571168	820338
2017	4284362,6	3100,9	103,7	5720,7	363266850	1031609
2018	4734402,0	3431,9	103,0	6238,4	489029821	1333266
2019	5388260,6	3911,0	105,8	7072,8	811432734	1436327
2020	6099856,2	4431,7	100,1	8189,0	692347518	1741065
2021	6069356,6	5419,3	103,1	10047,3	796866367	2065338
2022	7278059,2	6412,9	100,3	11593,9	724917845	2442616
2023	7711828,2	6793,9	102,4	13502,2	876522542	2912597
2024	9237175,4	8141,0	111,3	15681,2	1456700866	3538250
Год	**Кезең соңындағы халық саны, мың адам Х6**	**1000 адамға шаққандағы туу коэффициенті Х7**	**1000 адамға шаққандағы өлімжітім коэффициенті Х8**	**Жұмыспен қамтылған халық саны, мың адам Х9**	**Жұмыссыз халық саны, мың адам Х10**	**Сыртқы сауда айналымы, млн АҚШ доллары Х11**
2013	1369,6	18,06	10,48	707,2	36,9	6630,2
2014	1378,1	18,13	9,89	678,4	34,7	5868,0
2015	1384,8	17,73	9,81	670,0	37,7	4705,4
2016	1382,7	17,31	9,84	656,4	34,2	4473,6
2017	1380,5	16,44	9,57	652,4	32,6	5942,7
2018	1378,5	16,66	9,68	654,0	31,4	6407,1
2019	1376,9	16,73	9,76	648,9	30,0	5921,0
2020	1375,9	17,02	11,25	641,8	30,7	5902,8
2021	1135,0	17,46	12,84	643,4	30,0	8470,4
2022	1134,9	14,81	10,11	534,8	24,8	6356,0
2023	1135,4	14,44	9,43	535,8	22,9	5922,2
2024	1135,4	13,55	9,36	542,7	22,9	5654,3

Примечание – Составлена авторами на основе источника [10]

вестициялар, жұмыспен қамту, шағын және орта бизнес субъектілерінің өндіріс көлемі және демографиялық көрсеткіштер бойынша үздіксіз деректер қатарлары қолжетімді, ал салыстырмалылықты бұзатын деректердегі олқылықтар мен қайта есептеулер ең төменгі деңгейде.

Айнымалылар түсіндіру қабілеті мен уақыттық қатардың ұзақтығы арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз ету мақсатында іріктелді. Елдің жетекші өнеркәсіптік орталықтарының бірі болып табылатын Қарағанды облысы үшін факторлық талдауды қолдану экономикалық өсім, ресурстарды пайдаланудың тиімділігі және әлеуметтік тұрақтылық арасындағы өзара теңгерімді анықтауға мүмкіндік береді (2-кесте).

Әрі қарай модельден шартты ықтималдық мәндері белгіленген деңгейге сәйкес келмейтін айнымалылар (p-value < 0,05) кезең-кезеңімен алынып тасталды. Деректерді ең кіші квадраттар әдісі арқылы аппроксимациялау нәтижесінде келесі эконометрикалық модель алынды:

2-кесте – Факторлық талдау

	У	X1	X2	X3	X4	X5	
У		0,972535075	0,52697177	0,972205	0,80552	0,984033	
X1			0,46915594	0,993808	0,745129	0,989719	
X2				0,478743	0,918503	0,51459	
X3					0,753867	0,997303	
X4						0,787852	
X5							
	У	**X6**	**X7**	**X8**	**X9**	**X10**	**X11**
У		-0,67267	-0,92667	-0,85147326	-0,90133	-0,36986	-0,36986
X1		-0,82564	-0,888573	-0,41963049	-0,91066	-0,17377	-0,17377
X2		-0,16049	-0,452402	-0,40585239	-0,1596	-0,34359	-0,24051
X3		-0,8063	-0,888459	-0,43974756	-0,858	-0,91757	-0,19901
X4		-0,38424	-0,684591	-0,45517026	-0,44239	-0,59306	-0,31147
X5		-0,7638	-0,895314	-0,46294934	-0,84335	-0,9087	-0,24592
X6			0,580994	0,02485834	0,713985	0,716408	-0,33873
X7				0,78010939	0,938792	0,970381	0,559728
X8					0,639117	0,688929	0,869084
X9						0,639117	0,389696
X10							0,407275
X11							

$$\ln U_t = \alpha + \beta_1 \ln X_2 t + \beta_2 \ln X_4 t + \\ + \beta_3 \ln X_5 t + \beta_4 \ln X_{10} t + \varepsilon_t. \quad (1)$$

Талдау үдерісінде $\ln X_{10}t$ (сыртқы сауда айналымы) предикторы 5% маңыздылық деңгейінде статистикалық тұрғыдан мәнсіз ($p \approx 0,07$) болғандықтан модельден алынып тасталды. Робастты (HC3) стандарттық қателіктерді қолдана отырып, ең кіші квадраттар әдісімен жүргізілген қайта бағалау нәтижесінде орнықты үш факторлы модель алынды:

$$\ln U_t = \alpha + 0,7351 n X_2 t + 0,164 \ln X_4 t + \\ + 0,080 \ln X_5 t + \varepsilon_t,$$

мұнда U – жан басына шаққандағы ЖӨӨ;

X_2 – бір жұмыспен қамтылған адамға шаққандағы ЖҚҚ (еңбек өнімділігі);

X_4 – негізгі капиталға инвестициялар;

X_5 – ШОБ субъектілерінің өнім өндіру көлемі.

Әрбір коэффициентті экономикалық және статистикалық тұрғыдан түсіндірейік:

1. Аталған коэффициент жан басына шаққандағы жалпы өңірлік өнімнің еңбек өнімділігіне (бір жұмыспен қамтылған адамға шаққандағы жалпы қосылған құн) қатысты эластикалылығын сипаттайды. β_1 = 0,735 мәні еңбек өнімділігі 1%-ға артқан жағдайда жан басына шаққандағы ЖӨӨ орта есеппен 0,735%-ға өсетінін көрсетеді. t-статистикасының жоғары мәні ($t \approx 6,8$) коэффициенттің өте жоғары статистикалық маңыздылығын айғақтайды, яғни ол α = 0,05 деңгейіндегі сыни мәннен ($t \approx 2$) едәуір жоғары. $p < 0,001$ болуы кездейсоқ ықпал ету ықтималдығының өте төмен (<0,1%) екенін растайды. Стандарттық қателіктің төмен мәні (СКО ≈ 0,108) коэффициент бағасының жоғары дәлдігін көрсетсе, 95% сенімділік интервалы (бұдан әрі – СИ) [0,507; 0,963] параметрдің ықтимал ауытқулары жағдайында да әсердің оң және елеулі сипатта сақталатынын дәлелдейді.

Бұл ретте еңбек өнімділігі Қазақстан өңірлерінің экономикалық өсімін қамтамасыз ететін негізгі драйвер ретінде айқындалады.

2. Бұл коэффициент негізгі капиталға инвестициялар бойынша ЖӨӨ-нің эластикалылығын сипаттайды. Атап айтқанда, β_2 = 0,164 мәні инвестициялар көлемі 1%-ға артқан жағдайда жан басына шаққандағы ЖӨӨ орта есеппен 0,164%-ға өсетінін білдіреді. $t \approx 2,7$ коэффициенттің статистикалық тұрғыдан мәнді екенін көрсетеді ($t > 2$), алайда оның ықпалы еңбек өнімділігі факторына қарағанда салыстырмалы түрде әлсіздеу. $p \approx 0,02$ мәні әсердің 5% маңыздылық деңгейінде сенімді екенін растайды. Стандарттық қателіктің орташа деңгейі (СКО ≈ 0,060) бағa-

лаудың жеткілікті сенімділігін көрсетсе, 95% сенімділік интервалы [0,037; 0,291] β_2 коэффициентінің мәні 95% ықтималдықпен аталған аралықта орналасатынын және инвестициялардың ЖӨӨ-ге оң ықпалын дәлелдейді.

Капиталдық инвестициялардың өсуі экономикалық дамуға ықпал етеді, алайда олардың әсері орташа деңгейде болып, негізінен орта мерзімді кезеңде көрініс табады. Бұл жағдайда негізгі құралдардың жинақталуы және өндірістік әлеуеттің ұлғаюы экономикалық өсімнің негізгі алғышарттарына айналады.

3. Бұл коэффициент шағын және орта бизнес субъектілерінің өнім өндіру көлемінің жалпы өңірлік өнім деңгейіне ықпалын сипаттайды. Атап айтқанда, β_3 = 0,080 мәні ШОБ өнім көлемі 1%-ға артқан жағдайда жан басына шаққандағы ЖӨӨ орта есеппен 0,08%-ға өсетінін көрсетеді. t ≈ 2,9 және p ≈ 0,015 көрсеткіштері α = 0,05 маңыздылық деңгейінде әсердің статистикалық тұрғыдан мәнді екенін дәлелдейді. Стандарттық қателіктің төмен мәні (СКО ≈ 0,028) бағалаудың жоғары дәлдігін айғақтайды. 95% сенімділік интервалы [0,020; 0,140] ықпалдың ықтимал ауытқулар жағдайында да оң сипатта сақталатынын көрсетеді.

Шағын және орта бизнестің дамуы өңірлік экономиканың өсуіне елеулі үлес қосады, алайда оның әсері еңбек өнімділігі мен инвестицияларға қарағанда салыстырмалы түрде төменірек. Соған қарамастан, шағын және орта бизнес өңір экономикасын әртараптандыру мен тұрақтандыруда маңызды функция атқарады.

Мультиколлинеарлық талдау нәтижелері барлық предикторлар бойынша дисперсияны ұлғайту коэффициентінің (VIF) мәндері 10-нан төмен екенін көрсетті, бұл модельде критикалық мультиколлинеарлықтың жоқтығын білдіреді.

2013-2024 жылдар аралығында Қарағанды облысының әлеуметтік-экономикалық дамуына жүргізілген регрессиялық және факторлық бағалау алынған модельдердің қанағаттанарлық статистикалық орнықтылыққа ие екенін және өңірдің негізгі макроэкономикалық көрсеткіштері арасындағы өзара байланыстарды дұрыс интерпретациялауға мүмкіндік беретінін көрсетті.

Ұсынылған факторлық талдау деректеріне (1, 2-кесте) сүйене отырып, төмендегідей қорытындылар жасауға болады:

1. ЖӨӨ-мен айқын оң өзара байланыс келесі факторлар бойынша байқалады:

- жан басына шаққандағы ЖӨӨ (X_1, r_{yx_1} = 0,9725);
- ЖӨӨ физикалық көлем индексі (X_3, r_{yx_3} = 0,9722);
- бір жұмыспен қамтылған адамға шаққандағы ЖҚҚ (X_5, r_{yx_5} = 0,9840);
- негізгі капиталға инвестициялар (X_4, r_{yx_4} = 0,8055).

2. ЖӨӨ мен шағын және орта бизнес субъектілерінің өнім өндіру көлемі арасындағы байланыс орташа деңгейде байқалады, алайда оның бағыты теріс сипатқа ие (X_6, r_{yx_6} = -0,6727). Бұл жағдай өңір экономикасының ерекше құрылымын көрсетеді: ЖӨӨнің өсуі әрдайым шағын және орта бизнестің пропорционалды кеңеюімен қатар жүрмейді, керісінше кейбір кезеңдерде ірі бизнестің басымдылығының күшеюі нәтижесінде ШОБ субъектілерінің нарықтан ығыстырылуымен байланысты болуы мүмкін.

3. ЖӨӨ демографиялық факторлармен айқын теріс байланыстарды көрсетеді, бұл өңірде жалпы өңірлік өнімнің өсуі жағдайында демографиялық және әлеуметтік теңгерімсіздіктердің туындауы мүмкін екенін білдіреді. Атап айтқанда, дәстүрлі секторлардағы жұмыспен қамтудың қысқаруы немесе еңбек нарығындағы құрылымдық өзгерістер орын алуы ықтимал. Мұндай үрдістер төмендегі көрсеткіштермен расталады:

- туу коэффициенті (X_7, r_{yx_7} = -0,9267);
- өлім-жітім коэффициенті (X_8, r_{yx_8} = -0,8515);
- халықтың жұмыспен қамтылу деңгейі (X_9, r_{yx_9} = -0,9013).

4. Сыртқы сауда айналымымен әлсіз байланыс байқалады (X_{11}, $r_{yx_{11}}$ =-0,3699), бұл өңір экономикасының экспортқа жеткілікті деңгейде бағдарланбағанын немесе өсімнің негізгі драйвері ретінде ішкі сұраныстың басым екенін көрсетеді.

5. Факторлық құрылым экономикалық көрсеткіштердің өзара тығыз байланысын айқын көрсетеді. Атап айтқанда, жан басына шаққандағы ЖӨӨ, ШОБ субъектілерінің өнім өндіру көлемі және бір жұмыспен қамтылған адамға шаққандағы ЖҚҚ арасындағы корреляция коэффициенттері 0,99-дан жоғары болып, мультиколлинеарлықтың бар екенін айғақтайды.

2018-2024 жылдар аралығында өндірістік-инвестициялық фактордың күшеюі еңбек өнімділігінің артуымен және шағын және орта бизнестің белсенділігімен қатар жүрді, алайда бұл үдеріс әлеуметтік инфрақұрылым мен жұмыспен қамту саласынан тиісті қолдауды талап етті. 0,7-0,75 деңгейіндегі эластикалылық мәндері және жоғары статистикалық маңыздылық ресурстарды пайдаланудың тиімділігі арнасы өнеркәсіптік өңір жағдайында басым рөл атқаратынын айқын дәлелдейді.

Инвестициялар тұрақты, бірақ орташа деңгейдегі әсер көрсетеді (≈ 0,16), бұл өңірлік өсімнің капиталсыйымдылық сипатын айқындайды. Шағын және орта бизнестің ди-

намикасы қосымша оң үлес қосады (≈ 0,08), бұл цифрлық арналардың (сатып алу және сату үдерістері) айналымды арттырып, нарықтардың кеңеюіне ықпал ететіні жөніндегі тұжырыммен үйлеседі.

Ұсынылған көрсеткіштер негізінде сондай-ақ орташа жылдық күрделі өсім қарқыны (CAGR, Compound Annual Growth Rate) есептелді. Бұл көрсеткіш бастапқы және соңғы жылдар арасындағы кезеңде көрсеткіштің бірқалыпты (экспоненциалды) өсуі жағдайында оның жыл сайын орта есеппен қанша пайызға өзгергенін сипаттайды. CAGR көрсеткішін қолдану келесі себептерге байланысты әдіснамалық тұрғыдан негізді болып табылады:

- ауытқуларды тегістеуге мүмкіндік береді және өсімнің орнықты трендін айқындауға жағдай жасайды;

- әртүрлі көрсеткіштердің динамикасын (мысалы, жалпы өңірлік өнім мен инвестициялар) өзара салыстыруға қолайлы;

- өңірлік экономиканың және инвестициялық саясаттың ұзақ мерзімді тиімділігін бағалауда маңызды аналитикалық рөл атқарады:

$$CAGR = \left(\frac{X_{t_{кон}}}{X_{t_{нач}}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1, \qquad (2)$$

мұнда $X_{t_{нач}}$ – кезең басындағы көрсеткіштің мәні;

$X_{t_{кон}}$ – кезең соңындағы көрсеткіштің мәні;

n – кезеңдер арасындағы жылдар саны (2013-2024жж.).

Бұл 2013-2024 жылдар аралығында Қарағанды облысының ЖӨӨ орта есеппен жылына 12,44% өсім көрсеткенін білдіреді (3-кесте).

Көрсеткіштердің өзара салыстырмалылығын қамтамасыз ету және бағалау нәтижелерін икемділік (эластикалылық) тұрғысынан интерпретациялау мақсатында бастапқы уақыттық қатарлар логарифмдік түрлендіруден өткізілді. Бұл тәсіл айырмашылықтарды жуықталған өсім қарқындары ретінде қарастыруға мүмкіндік беріп, кейінгі регрессиялық талдаудың орнықтылығын арттырады.

Кез-келген Y_t көрсеткіші үшін t жылында:

$$\mathrm{Ln}\, Yt = \ln(Yt), \qquad (3)$$

$\ln U_{2013}$ = ln(1919,1) = 7,559612

$\ln X_{2\ 2013}$ = ln(3240,3) = 8,083421

$\ln X_{4\ 2013}$ = ln(405015132) = 19,819430

$\ln X_{5\ 2013}$ = ln(533525) = 13,187262

$\ln X_{10\ 2013}$ = ln(6630,2) = 8,799390.

4-кестеде 2013–2024 жылдар аралығында Қарағанды облысының бәсекеге қабілеттілігін айқындайтын негізгі айнымалылар логарифмдерінің уақыттық қатарлары келтірілген, олар кейін лог – лог OLS спецификациясында және динамикалық өзара байланыстарды диагностикалауда қолданылады.

Жүргізілген талдау нәтижелері негізінде Қарағанды облысының қаржылық тұрақтылығын арттыру мақсатында факторлық талдауды қолдануға бағытталған ұсынымдар әзірленді. Бұл ұсынымдар өңірдің қаржылық орнықтылығын нығайтуға және оның орнықты дамуының негізін қалыптастыруға мүмкіндік береді. Атап айтқанда, шағын және орта бизнесті ауқымдау арқылы еңбек өнімділігі мен инвестициялық белсенділікті арттыру төмендегі бағыттар бойынша жүзеге асырылуы қажет:

1. Инвестициялық әлеуетті нығайту;
2. Еңбек өнімділігін арттыру;
3. Шағын және орта бизнестің теңгерімді дамуын қамтамасыз ету;
4. Әлеуметтік-демографиялық тұрақтандыру;
5. Экономиканы әртараптандыру.

Қорытынды

Қарағанды облысының әлеуметтік-экономикалық даму көрсеткіштеріне жүргізілген факторлық талдау экономиканы жаңғырту жағдайында жалпы өңірлік өнімнің өңірдің қаржылық тұрақтылығын бағалауда кешенді әрі жоғары сезімтал индикатор болып табылатынын растады. ЖӨӨ, жан басына шаққандағы ЖӨӨ, бір жұмыспен қамтылған адамға шаққандағы жалпы қосылған құн, негізгі капиталға инвестициялар және ша-

3-кесте – Көрсеткіштердің орташа жылдық өсім қарқыны

Көрсеткіш	CAGR
ЖӨӨ (номиналдық) орташа жылдық өсім қарқыны	0,1213
Физикалық көлемді ескере отырып нақты өсім қарқыны (X1 индексі бойынша)	0,0843
Жан басына шаққандағы ЖӨӨ орташа жылдық өсім қарқыны	0,1404
Еңбек өнімділігінің өсуі (бір жұмыспен қамтылған адамға шаққандағы ЖҚҚ)	0,1541
Негізгі капиталға инвестициялардың орташа жылдық өсім қарқыны	0,1234
Шағын және орта бизнес субъектілері өндіретін өнім көлемінің өсуі	0,1877

4-кесте – 2013-2024 жылдар аралығындағы өңірдің бәсекеге қабілеттілігін айқындайтын негізгі айнымалылар логарифмдерінің уақыттық қатарлары

Year	lnU	lnX2	lnX4	lnX5	lnX10
2013	7,559612	8,083421	19,81943	13,18726	8,79939
2014	7,654728	8,245568	19,83617	13,40117	8,677269
2015	7,718196	8,305212	19,65426	13,48321	8,456466
2016	7,894542	8,483864	19,57621	13,61747	8,405949
2017	8,039448	8,651846	19,71065	13,84663	8,689919
2018	8,140869	8,738479	20,00793	14,10314	8,765162
2019	8,271548	8,864012	20,51431	14,1776	8,686261
2020	8,396539	9,010547	20,3556	14,37001	8,683182
2021	8,597722	9,215059	20,4962	14,5408	9,044333
2022	8,766067	9,358234	20,40157	14,70858	8,757155
2023	8,82378	9,510608	20,59147	14,88456	8,686463
2024	9,004668	9,660218	21,09944	15,07914	8,640172

ғын және орта бизнес субъектілерінің өнім өндіру көлемі арасындағы айқын оң корреляциялар осы факторлардың орнықты экономикалық өсімді қалыптастырудағы шешуші рөлін дәлелдейді.

Осылайша, ЖӨӨ-нің тұрақты өсуін қамтамасыз ету инвестициялық ынталандыруды күшейтуді, еңбек өнімділігін арттыруды, шағын және орта бизнесті қолдауды, сондай-ақ демографиялық және әлеуметтік мәселелерді нысаналы түрде шешуді үйлестіретін кешенді саясатты іске асыруды талап етеді.

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылды (№AP26197239).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Z.A. Saqib, L. Qin Investigating effects of digital innovations on sustainable operations of logistics: An empirical study // Sustainability, 16 (2024), p. 5518. https://doi.org/10.3390/su16135518
2. Coccorese, P., Silipo, D.B. Growth without finance, finance without growth. Empir Econ 49, 279-304 (2015). https://doi.org/10.1007/s00181-014-0844-4
3. A multiple criteria analysis approach for assessing regional and territorial progress toward achieving the Sustainable Development Goals in Italy // Decision Analytics Journal. – 2025. – Volume 15. https://doi.org/10.1016/j.dajour.2025.100559
4. M. Tavana Decision analytics in the world of big data and colorful choices // Decision Analytics Journal (2021). https://doi.org/10.1016/j.dajour.2021.100002
5. R.M. Encenzo, R. Asoque, R. Arceño, J. Aclao, E. Ramones, J. Orioque, C. Wenceslao, N.M. Atibing, L. Ocampo A comprehensive analytical framework for evaluating the similarity between organizations' strategic directions and the United Nations' sustainable development goals // Decision Analytics Journal. – 6 (2023). https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100176
6. U. Tanveer, M.D. Kremantzis, N. Roussinos, S. Ishaq, L.S. Kyrgiakos, G. Vlontzos A fuzzy TOPSIS model for selecting digital technologies in circular supply chains // Supply Chain Analytics, 4 (2023). DOI:10.1016/j.sca.2023.100038
7. N. Hasteer, R. Sindhwani, R. Sharma, P.L. Singh A fuzzy Interpretive Structural Modeling approach for implementing IoT and achieving the United Nations Sustainable Development Goals // Decision Analytics Journal., 8 (2023). https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100313
8. A. Biancardi, A. Colasante, I. D'Adamo, C. Daraio, M. Gastaldi, A.F. Uricchio Strategies for developing

sustainable communities in higher education institutions // Scientific Reports. – Volume, 13 (2023), p. 20596. https://doi.org/10.1038/s41598-023-48021-8
9. Fernández-Miguel, A., García-Muiña, F.E., Settembre-Blundo, D. et al. Exploring Systemic Sustainability in Manufacturing: Geoanthropology's Strategic Lens Shaping Industry 6.0 // Global Journal of Flexible Systems Management. – Volume 25, 579-600 (2024). https://doi.org/10.1007/s40171-024-00404-0
10. Қазақстан Республикасының Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі жанындағы Ұлттық статистика бюросы [Электрондық ресурс]. – URL: http://www.stat.gov.kz

Применение факторного анализа оценки финансовой устойчивости регионального развития на материалах Карагандинской области

[1]РАХИМБЕРДИНОВА Мадина Умаргалиевна, *PhD, профессор, MRakhimberdinova@edu.ektu.kz,*
[2]*МАЗИНА Айнур Курметовна, *PhD, старший преподаватель, mazina_ainur@mail.ru,*
[3]ИСКАКОВА Айжан Сунгатовна, *докторант, aazzzlx@icloud.com,*
[2]ОМАРОВА Айнура Тояковна, *PhD, профессор, ainuraphd@mail.ru,*
[3]ОМАРОВА Махабат Толеуовна, *PhD, зав. кафедрой, omarmakhabat99@gmail.com,*
[1]НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева», ул. Д. Серикбаева, 19, Усть-Каменогорск, Казахстан,
[2]НАО «Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова», ул. Университетская, 28, Караганда, Казахстан,
[3]Карагандинский университет Казпотребсоюза, ул. Академическая, 9, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В условиях глобальной турбулентности и структурных преобразований экономики Казахстана устойчивость финансовой базы регионов приобретает стратегическое значение. Карагандинская область как крупный индустриальный центр, демонстрирует значимые экономические результаты, однако уязвима из-за отраслевой концентрации, слабой диверсификации и износа инфраструктуры. Цель исследования – выявить и количественно оценить социально-экономические детерминанты финансовой устойчивости Карагандинской области (2013-2024 гг.) и, опираясь на факторный анализ и регрессионное моделирование, разработать практико-ориентированную методику её оценки и мониторинга, а также сформировать рекомендации по диверсификации экономики и оптимизации стратегического управления. Использованы сравнительный, структурный анализ и экономико-математическое моделирование. Факторная модель выявила приоритетные факторы роста ВРП: инвестиции в основной капитал, развитие МСБ, занятость и индекс физического объема производства. Подход может применяться при формировании региональных стратегий и оптимизации инвестиционной политики. Анализ показал, что усиление инвестиционной активности, поддержка предпринимательства и модернизация производственной базы – ключевые условия долгосрочной устойчивости Карагандинской области.*

Ключевые слова: *финансовая устойчивость, региональное развитие, стратегия, инвестиции, модернизация, инвестиционная активность.*

Application of Factor Analysis in Assessing the Financial Stability of Regional Development: Evidence from the Karaganda Region

[1]RAKHIMBERDINOVA Madina, *PhD, Professor, MRakhimberdinova@edu.ektu.kz,*
[2]*MAZINA Ainur, *PhD, Senior Lecturer, mazina_ainur@mail.ru,*
[3]ISKAKOVA Aizhan, *Doctoral Student, aazzzlx@icloud.com,*
[2]OMAROVA Ainura, *PhD, Professor, ainuraphd@mail.ru,*
[3]OMAROVA Makhabat, *PhD, Head of Department, omarmakhabat99@gmail.com,*
[1]NPJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University», 19 D. Serikbayev Street,

Oskemen, Kazakhstan,
[2]NPLC «Karaganda National Research University named after Academician E.A. Buketov», 28 University Street, Karaganda, Kazakhstan,
[3]Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, 9 Akademicheskaya Street, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *In the context of global turbulence and structural transformations of Kazakhstan's economy, the stability of the financial base of regions acquires strategic importance. Karaganda region, as a major industrial center, demonstrates significant economic results; however, it remains vulnerable due to sectoral concentration, weak diversification, and infrastructure deterioration. The purpose of the study is to identify the socio-economic determinants influencing the financial stability of the region and to propose a practice-oriented approach to its assessment based on factor analysis. Comparative, structural analysis and economic-mathematical modeling methods were applied. The factor model identified the priority drivers of GRP growth: investments in fixed capital, development of SMEs, employment, and the index of industrial production. The proposed approach can be applied in the development of regional strategies and the optimization of investment policy. The analysis revealed that strengthening investment activity, supporting entrepreneurship, and modernizing the production base are key conditions for the long-term sustainability of the Karaganda region.*

Keywords: *financial stability, regional development, strategy, investments, modernization, investment activity.*

REFERENCES

1. Z.A. Saqib, L. Qin Investigating effects of digital innovations on sustainable operations of logistics: An empirical study // Sustainability, 16 (2024), p. 5518. https://doi.org/10.3390/su16135518
2. Coccorese, P., Silipo, D.B. Growth without finance, finance without growth. Empir Econ 49, 279-304 (2015). https://doi.org/10.1007/s00181-014-0844-4
3. A multiple criteria analysis approach for assessing regional and territorial progress toward achieving the Sustainable Development Goals in Italy // Decision Analytics Journal. – 2025. – Volume 15. https://doi.org/10.1016/j.dajour.2025.100559
4. M. Tavana Decision analytics in the world of big data and colorful choices // Decision Analytics Journal (2021). https://doi.org/10.1016/j.dajour.2021.100002
5. R.M. Encenzo, R. Asoque, R. Arceño, J. Aclao, E. Ramones, J. Orioque, C. Wenceslao, N.M. Atibing, L. Ocampo A comprehensive analytical framework for evaluating the similarity between organizations' strategic directions and the United Nations' sustainable development goals // Decision Analytics Journal. – 6 (2023). https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100176
6. U. Tanveer, M.D. Kremantzis, N. Roussinos, S. Ishaq, L.S. Kyrgiakos, G. Vlontzos A fuzzy TOPSIS model for selecting digital technologies in circular supply chains // Supply Chain Analytics, 4 (2023). DOI:10.1016/j.sca.2023.100038
7. N. Hasteer, R. Sindhwani, R. Sharma, P.L. Singh A fuzzy Interpretive Structural Modeling approach for implementing IoT and achieving the United Nations Sustainable Development Goals // Decision Analytics Journal., 8 (2023). https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100313
8. A. Biancardi, A. Colasante, I. D'Adamo, C. Daraio, M. Gastaldi, A.F. Uricchio Strategies for developing sustainable communities in higher education institutions // Scientific Reports. – Volume, 13 (2023), p. 20596. https://doi.org/10.1038/s41598-023-48021-8
9. Fernández-Miguel, A., García-Muiña, F.E., Settembre-Blundo, D. et al. Exploring Systemic Sustainability in Manufacturing: Geoanthropology's Strategic Lens Shaping Industry 6.0 // Global Journal of Flexible Systems Management. – Volume 25, 579-600 (2024). https://doi.org/10.1007/s40171-024-00404-0
10. Bjuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju I reformam Respubliki Kazahstan [Buro of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan] [Electronic resource]. – URL: http://www.stat.gov.kz

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_314 UDC 336.77

Assessment of the Impact of Consumer Lending on Household Income

[1]**RAKHYMZHANOVA Gulmira,** *PhD, gulmira.72-78@mail.ru,*
[2]***ZHANAKOVA Nazigul,** *Cand. of Econ. Sc., Associate Professor, nazikzhan291178@gmail.com,*
[1]Alikhan Bokeikhan University, 11 Mangilik El Street, Semey, Kazakhstan,
[2]JSC «Economic Research Institute», 65 Temirkazyk Street, Astana, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The article analyzes the dynamics of consumer lending, its relationship with the country's GDP, and the real incomes of the population. The study identifies an increase in the burden of consumer lending on the national economy and reveals that the growth rate of consumer lending exceeds the growth rate of real household incomes, which generally indicates a rising dependence of consumer demand on borrowed funds. During the research, a consumer credit burden coefficient was calculated, expressed as the ratio of consumer lending to real household incomes. In recent years, this indicator has exceeded internationally recognized benchmarks, confirming the trend of over-indebtedness among the population and growing financial vulnerability. The results of the multiple linear regression analysis demonstrate a statistically significant negative effect of consumer lending growth on household income, indicating a decline in financial stability as debt levels increase. A threshold level of credit burden was identified, beyond which further increases lead to a reduction in household income and a contraction in consumer activity. The study also proposes a set of measures aimed at reducing the risks of over-indebtedness, the implementation of which would strengthen the financial stability of households and promote balanced credit growth.*

Keywords: *consumer lending, crediting, population income, household, purchasing power, consumer demand.*

Introduction. Consumer lending represent one of the key financial products, exerting a direct influence on the level and quality of life of the population. Consumer lending plays a dual role in the economy. On the one hand, the availability of consumer lending enables households to purchase goods and services, improve their living standards, and meet needs that cannot be financed solely through current income. On the other hand, the increasing debt burden exerts pressure on household incomes, reducing their real purchasing power. In the face of various macroeconomic shocks or inflationary pressures, lending repayments constrain the resources available for consumption and savings, thereby increasing the debt vulnerability of the population.

In this context, the purpose of the study is to conduct a quantitative assessment of the impact of consumer lending on household incomes in Kazakhstan, which will make it possible to identify the balance between the positive effects of lending and the potential risks associated with the growth of debt obligations.

Literature Review. The study of the impact of consumer lending covers various aspects, ranging from the analysis of credit risks that may arise in the banking system as a result of the expansion of consumer credit [1], and their influence on the country's economic growth [2], to the examination of factors and causes that generate these risks [3], while simultaneously leading to the formation and development of new financial products in the market [4].

Previous research has revealed that expanding access to consumer lending for low-income groups, including through online lending platforms [5], results in limited consumption smoothing and exacerbates their debt vulnerability within the framework of financial inclusion [6].

At the same time, studies have identified a weak dependence of household consumer lending on bank interest rates, average monthly income, and inflation, but a strong dependence on imports and the gross value added of trade [7], as well as on psychological instruments of

influence [8].

At the same time, research on the relationship between consumer credit growth and household income has shown an increase in investment in human capital due to higher disposable income and improved education levels [9]. At the same time, it has been revealed that the growth of consumer lending contributes to the rise of self-employment and the development of entrepreneurship [10].

Building upon the existing body of research on the impact of consumer credit on household income, the present study seeks to extend previous findings by applying a quantitative assessment of this influence and by developing recommendations within the framework of macroeconomic and financial regulation.

Research Methods. The study is based on an econometric model constructed using multiple linear regression, which makes it possible to identify the dynamic relationship and the impact of consumer lending on the income component of household budgets. The applied methods of observation and measurement, as well as analysis and synthesis, enabled the assessment of consumer credit dynamics and the identification of causal relationships with household income based on statistical data.

The data presented in the study were obtained from official sources, including the Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan and the National Bank of Kazakhstan.

Research Results. In recent years, there has been a steady upward trend in consumer lending, the growth rate of which has outpaced that of the country's GDP. This reflects both the expansion of public access to financial products and the increasing dependence of consumer demand on credit resources.

During the period from 2015 to 2024, the volume of consumer lending increased almost eightfold – from 1.8 trillion tenge in 2015 to 13.8 trillion tenge in 2024 – while the national economy expanded by a factor of 3.3, from 40.9 trillion tenge in 2015 to 136.7 trillion tenge in 2024. As a result, the consumer credit burden on the economy increased by 2.3 times over the study period (Figure 1).

In the structure of lending issued to the population, consumer lending account for a significant share – approximately 70% in recent years. Within the overall lending portfolio of the banking sector, consumer lending make up nearly 40% [11]. Despite the increase in interest rates, household demand for credit continues to grow – having expanded almost eightfold over the past decade.

The most notable surge in consumer borrowing occurred in the post-COVID year of 2021, when lending issuance nearly doubled. This period was marked by the rapid development of online banking services and increased consumer demand amid the recovery of economic activity (Figure 2).

At the same time, there has been a significant predominance of long-term consumer lending, which have accounted for an average of about 85% over the past decade, while the share of short-term consumer lending has averaged 15% [11].

The growing dependence of households on borrowed funds generates risks of reduced financial stability, affecting their overall living standards and quality of life. This is evidenced

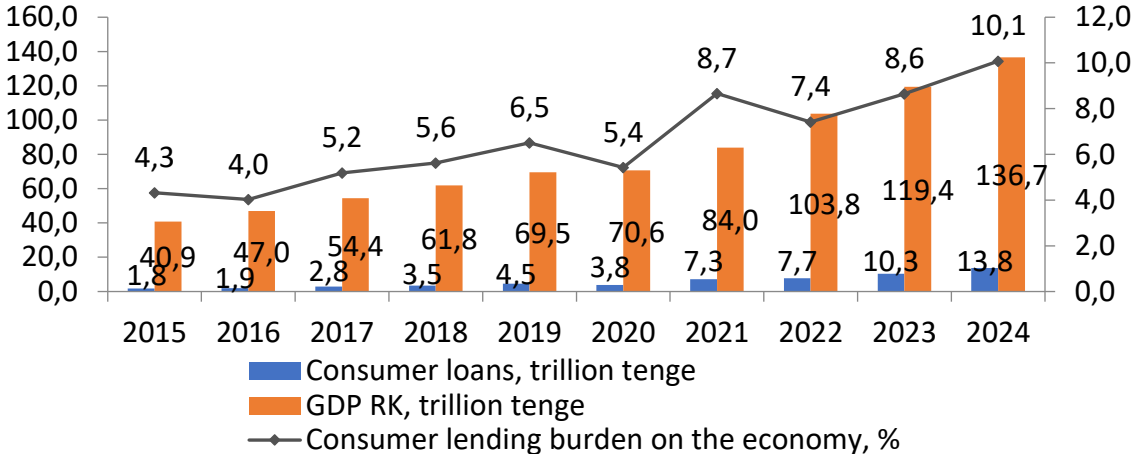


Figure 1 – Consumer lending burden on the economy of the Republic of Kazakhstan, 2015-2024, %

Note – Compiled and calculated based on sources [11], [12]

by the recent trend in the economy where the growth rate of consumer lending has significantly outpaced the growth rate of real household incomes – the gap between them has averaged eightfold over the past ten years – thus creating a pronounced imbalance between income dynamics and debt burden (Figure 3).

A decline in the growth rate of consumer lending was observed only in 2020, during the pandemic period, after which a sharp increase occurred in the second quarter of 2021, driven by greater credit accessibility and the post-pandemic revival of household economic activity.

The availability of credit products and the rapid growth of consumer lending, which have led to increasing household indebtedness, are reflected in the rising debt burden ratio – defined as the ratio of the volume of consumer lending to real household incomes – which has tripled over the past decade (Figure 4). According to internationally recognized banking and regulatory standards, a consumer lending burden of 10-15% of household income is considered normal. When the share of income devoted to servicing consumer lending exceeds 20%, as has been consistently observed in Kazakhstan since the post-COVID year of 2021 (Figure 4), households are regarded as being in a zone of financial vulnerability, characterized by reduced purchasing power and limited capacity for savings.

A quantitative assessment of the impact of consumer lending on household income indicates a statistically significant negative relationship between these variables, suggesting that an increase in debt burden leads to a decline in real household income. The obtained

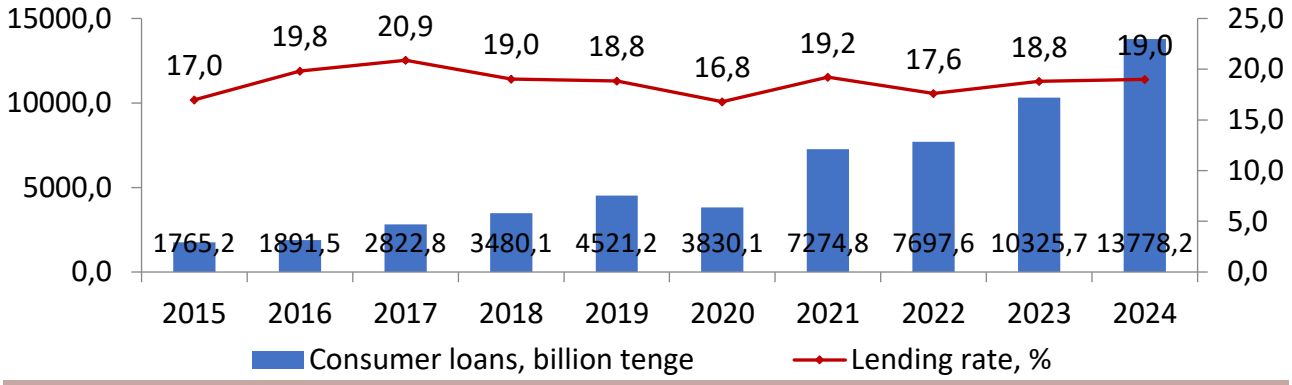


Figure 2 – Consumer lending to households and lending rates in the Republic of Kazakhstan, 2015–2024, billion tenge / %

Note – Compiled based on source [11]

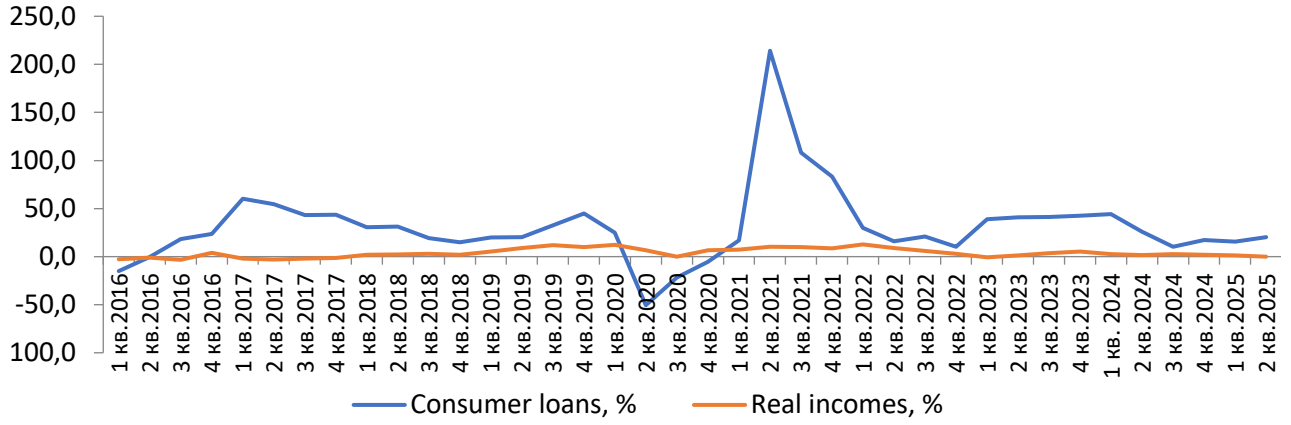


Figure 3 – Growth rates of consumer lending and real incomes of the population in the Republic of Kazakhstan, %

Note – Compiled based on source [11]

results show that a one-unit increase in consumer credit results in a 0.14-unit decrease in real household income, confirming the hypothesis that excessive expansion of consumer lending increases the financial vulnerability of households due to the growing debt obligations.

In the context of rising mortgage lending and the identified negative impact on household income, it becomes essential to determine the threshold level of household debt burden – an indicator of the extent of household indebtedness – beyond which any further increase in consumer loan repayments begins to reduce disposable income and constrain consumer activity (Figure 5).

According to our calculations, the increase in the average monthly mortgage burden per household amounted to: 97.2 thousand tenge in Q4 2015; 110.5 thousand tenge in Q4 2016; 116.9 thousand tenge in Q4 2017; 125.8 thousand tenge in Q4 2018; 145.6 thousand tenge in Q4 2019; 166.5 thousand tenge in Q4 2020; 196.8 thousand tenge in Q4 2021; 241.9 thousand tenge in Q4 2022; 281.1 thousand tenge in Q4 2023; and 310.7 thousand tenge in Q4 2024. These represent the threshold levels beyond which real household income declined by 10%, consequently leading to reduced consumer activity, increased debt burden, and a lower standard of living.

Conclusions. Consumer lending is a key factor influencing the financial stability of households. The empirical analysis has shown that the growth rate of consumer loans in the period under review is higher than the growth rate of real incomes of the population. This means that household's debt burden is increasing faster than their purchasing power, which leads to a reduction in disposable income and increases financial vulnerability.

The regression analysis reveals a statistically significant relationship between an increase in lending and a decrease in real incomes, reflecting the effect of an inverse relationship: in conditions of stagnation or slowing income growth, households are more likely to resort to loans to maintain consumption. Other factors considered in the model, such as inflation, unemployment, and wages, did not demonstrate

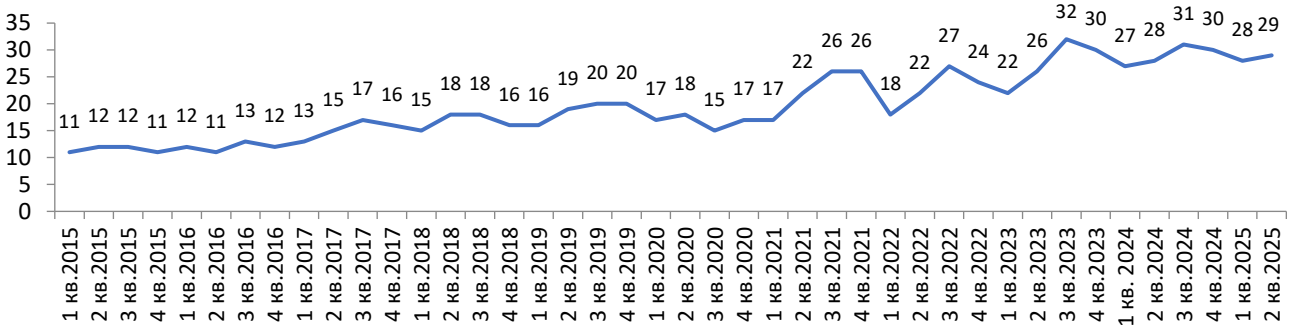


Figure 4 – Consumer lending burden ratio to household income in the Republic of Kazakhstan, %

Note – Compiled based on source [11]; [12]

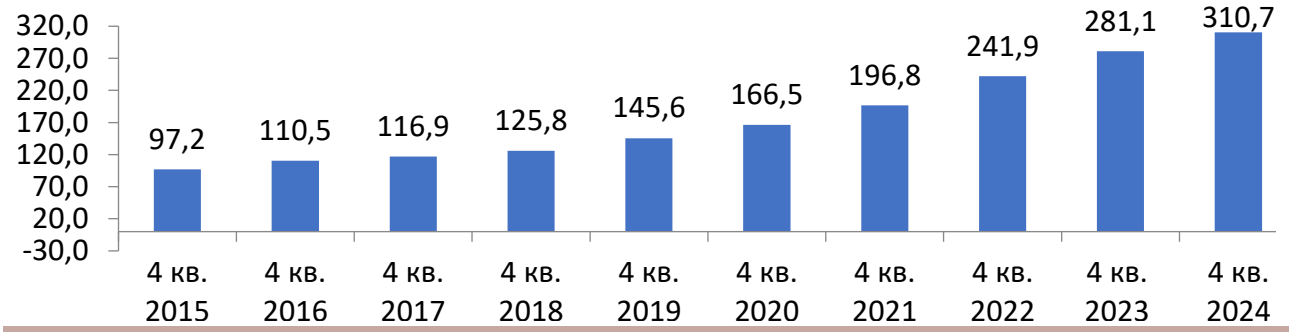


Figure 5 – Threshold level of consumer loan repayment burden in the Republic of Kazakhstan, thousand tenge

Note – Calculated by the authors based on source [12]

a statistically significant direct influence within the sample, explained by a possible indirect channel of influence. At the same time, a possible decrease in real incomes of the population is observed after reaching a certain level of debt burden, after which households experienced financial vulnerabilities.

In order to form a sustainable borrowing model and increase the financial stability of the population, it is important to strengthen macroprudential regulation by developing a stress testing system for banks on the risks of growth in non-performing consumer loans. This will make it possible to identify vulnerabilities in a timely manner, limit the accumulation of risks and increase the resilience of the financial sector and households. Equally important is the further development of modern credit scoring tools based on an extensive database that includes information on bank and microfinance loans, leasing, digital transactions, and installment payments – all integrated into a unified register of household debt burden.

The new limits on consumer loans and the regulatory requirements for microfinance organizations introduced in 2024 require further adjustment in line with household income levels and the specific socioeconomic characteristics of each region. This is due to the heterogeneity of the socio-economic development of the regions, including differences in income levels, employment structure (seasonal employment, self-employment), debt burden, and financial literacy.

REFERENCES

1. Kanapickiene R., Keliuotytė-Staniulėnienė G., Vasiliauskaitė D., Špicas R., Neifaltas A., Valukonis M. (2023). Macroeconomic Factors of Consumer Lending Credit Risk in Central and Eastern European Countries, Economies, 11(4), 102, Pp. 1-32. https://doi.org/10.3390/economies11040102
2. Есымханова З.К., Бирмагамбетов Т.Б., Мукушев Б.Т. (2025). Влияние потребительского кредитования на экономику Казахстана // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Серия Экономика. № 1. С. 196-213, https://doi.org/10.32523/2789-4320-2025-1-196-213
3. Santos C. Consumer Lending, Heterogeneous Interest Rates, and Inequality // IDB. Inter-American Development Bank, March 2023. – URL: https://publications.iadb.org/en/consumer-lending-heterogeneous-interest-rates-and-inequality (дата обращения: 28.05.2024)
4. Qian Z., Tu Y., Zhou Z. (2022). The impact of financial development on the income and consumption levels of China's rural residents, Journal of Asian Economics, Vol. 83, 101551, https://doi.org/10.1016/j.asieco.2022.101551
5. Li J., Song Q., Wu Y., Huang B. (2021). The effects of online consumer credit on household consumption level and structure: Evidence from China, Journal of Consumer Affairs, vol. 55 (4), Pp. 1614-1632, https://doi.org/10.1111/joca.12390
6. Santanna D. (2023). Providing Consumer Credit to Low-Income Populations in Brazil – The Case of Complexo da Penha, Social Sciences, 12 (12), 691, https://doi.org/10.3390/socsci12120691
7. Канагатова Д.Б., Кенжегалиева Н.С. Влияние потребительского кредита на стабильность банковской системы: анализ экономических и психологических факторов, Central Asian Economic Review, 2023, (2), С. 164-180, https://doi.org/10.52821/2789-4401-2023-2-164-180
8. Кудайбергенова К.С., Казыбаев Б.О., Сатаев Е.А., Абилдаханова С.Р. (2022). Социально-экономические факторы кредитного поведения населения // Вестник КазУЭФМТ. № 3 (48). С. 221-227, https://doi.org/10.52260/2304-7216.2022.3(48).28
9. Li M., Wan B. (2025). Consumer credit, family education level, and human capital investment, Finance Research Letters, Vol. 80, 107264, https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.107264
10. Herkenhoff K., Phillips G.M., Cohen-Cole E. (2021). The impact of consumer credit access on self-employment and entrepreneurship, Journal of Financial Economics, Vol.141, Issue 1, Pp. 345-371, https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.03.004
11. Национальный банк Казахстана. Статистика. Денежно-кредитная и банковская статистика. – URL: https://nationalbank.kz/ru/news/banking-sector-lending-to-economy-analytics/rubrics/2204#
12. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. – URL: https://stat.gov.kz/ru/

Халықтың табысына тұтынушылық несиелердің әсерін бағалау

[1]РАХИМЖАНОВА Гульмира Амиржановна, *PhD, gulmira.72-78@mail.ru,*
[2]*ЖАНАКОВА Назигуль Нурлановна, *э.ғ.к, қауымдастырылған профессор, nazikzhan291178@gmail.com,*
[1]Alikhan Bokeikhan University, Мәңгілік Ел көшесі, 11, Семей, Қазақстан,
[2]«Экономика зерттеулер институты» АҚ, Темірқазық көшесі, 65, Астана, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Тұтынушылық несиелердің динамикасы, олардың елдің ЖІӨ-сімен және халықтың нақты табыстарымен арақатынасы талданады. Ел экономикасына түсетін тұтынушылық несие жүктемесінің өсуі анықталып, тұтынушылық несиелердің өсу қарқыны халықтың нақты табыстарының өсу қарқынынан асып түскені айқындалды. Бұл, жалпы алғанда, тұтынушылық сұраныстың қарыз қаражаттарына тәуелділігінің артып келе жатқанын көрсетеді. Зерттеу барысында халықтың нақты табысына шаққандағы тұтынушылық несиелердің көлемімен анықталатын несие жүктемесінің коэффициенті есептелді. Соңғы жылдары бұл көрсеткіш әлемдік орташа деңгейден асып түсіп, халықтың шамадан тыс қарызға батуын және қаржылық осалдықтың күшеюін дәлелдейді. Көптік сызықтық регрессия нәтижелері тұтынушылық несиелендірудің өсуі халық табысына статистикалық тұрғыдан теріс әсер ететінін, яғни қарыз жүктемесі артқан сайын үй шаруашылықтарының қаржылық тұрақтылығының төмендейтінін көрсетті. Табыстың төмендеуіне және тұтынушылық белсенділіктің шектелуіне алып келетін несие жүктемесінің шекті деңгейі айқындалды. Сонымен қатар, жұмыста халықтың шамадан тыс қарыздану тәуекелдерін төмендетуге бағытталған шаралар ұсынылып, олардың іске асырылуы үй шаруашылықтарының қаржылық тұрақтылығын нығайтуға және несиелік өсімнің теңгерімді болуына ықпал ететіні атап өтіледі.*

Кілт сөздер: *тұтынушылық несиелер, несиелеу, халық табысы, үй шаруашылығы, сатып алу қабілеті, тұтынушылық сұраныс.*

Оценка влияния потребительских кредитов на доходы населения

[1]РАХИМЖАНОВА Гульмира Амиржановна, *PhD, gulmira.72-78@mail.ru,*
[2]*ЖАНАКОВА Назигуль Нурлановна, *к.э.н., ассоциированный профессор, nazikzhan291178@gmail.com,*
[1]Alikhan Bokeikhan University, ул. Мангилик Ел, 11, Семей, Казахстан,
[2]АО «Институт экономических исследований», ул. Темирказык, 65, Астана, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Проводится анализ динамики потребительских кредитов, их соотношение с ВВП страны и реальными доходами населения. Определен рост нагрузки потребительского кредитования на экономику страны и выявлено превышение темпов роста потребительских кредитов над темпами роста реальных доходов населения, что в целом указывает на рост зависимости потребительского спроса от заемных средств. В процессе исследования был определен коэффициент нагрузки по потребительским кредитам, выражаемый соотношением потребительских кредитов к реальным доходам населения, который за последние годы превышает общепризнанные мировые параметры, подтверждая тезис о закредитованности населения и росте финансовой уязвимости. Результаты множественной линейной регрессии показали статистически значимое отрицательное влияние роста потребительского кредитования на доходы населения, снижая финансовую устойчивость домохозяйств при росте долговой нагрузки. Определен предельный уровень кредитной нагрузки, превышение которого приводит к падению доходов и ограничению потребительской активности. Предложены меры по снижению рисков закредитованности населения, использование которых будет способствовать укреплению финансовой устойчивости домохозяйств и обеспечению сбалансированного кредитного роста.*

Ключевые слова: *потребительские кредиты, кредитование, доходы населения, домохозяйство, покупательная способность, потребительский спрос.*

REFERENCES

1. Kanapickiene R., Keliuotytė-Staniulėnienė G., Vasiliauskaitė D., Špicas R., Neifaltas A., Valukonis M. (2023). Macroeconomic Factors of Consumer Lending Credit Risk in Central and Eastern European Countries, Economies, 11 (4), 102, Pp. 1-32. https://doi.org/10.3390/economies11040102
2. Yessymkhanova Z.K., Birmagambetov T.B., Mukushev B.T. (2025). Vlijanie potrebitel'skogo kreditovanija na jekonomiku Kazahstana [Impact of consumer lending on the economy of Kazakhstan], ECONOMIC Series of the Bulletin of the L N Gumilyov ENU, № 1, Pp. 196-213, https://doi.org/10.32523/2789-4320-2025-1-196-213
3. Santos C. Consumer Lending, Heterogeneous Interest Rates, and Inequality // IDB. Inter-American Development Bank, March 2023. – URL: https://publications.iadb.org/en/consumer-lending-heterogeneous-interest-rates-and-inequality (дата обращения: 28.05.2024)
4. Qian Z., Tu Y., Zhou Z. (2022). The impact of financial development on the income and consumption levels of China's rural residents, Journal of Asian Economics, Vol. 83, 101551, https://doi.org/10.1016/j.asieco.2022.101551
5. Li J., Song Q., Wu Y., Huang B. (2021). The effects of online consumer credit on household consumption level and structure: Evidence from China, Journal of Consumer Affairs, vol. 55 (4), Pp. 1614-1632, https://doi.org/10.1111/joca.12390
6. Santanna D. (2023). Providing Consumer Credit to Low-Income Populations in Brazil – The Case of Complexo da Penha, Social Sciences, 12 (12), 691, https://doi.org/10.3390/socsci12120691
7. Kanagatova D.B., Kenzhegaliyeva N.S. Vlijanie potrebitel'skogo kredita na stabil'nost' bankovskoj sistemy: analiz jekonomicheskih i psihologicheskih faktorov [The impact of consumer credit on the stability of the banking system: an analysis of economic and psychological factors], Central Asian Economic Review, 2023, (2), Pp. 164-180, https://doi.org/10.52821/2789-4401-2023-2-164-180
8. Kudaibergenova K.S., Kazybayev B.O., Satayev E.A. Abilkhanova S.R. (2022). Socio-Economic Factors of Credit Behavior of the Population, Вестник КазУЭФМТ, № 3 (48), Pp. 221-227, https://doi.org/10.52260/2304-7216.2022.3(48).28
9. Li M., Wan B. (2025). Consumer credit, family education level, and human capital investment, Finance Research Letters, Vol.80, 107264, https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.107264
10. Herkenhoff K., Phillips G.M., Cohen-Cole E. (2021). The impact of consumer credit access on self-employment and entrepreneurship, Journal of Financial Economics, Vol.141, Issue 1, Pp. 345-371, https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.03.004
11. Nacional'nyj bank Kazahstana. Statistika. Denezhno-kreditnaja i bankovskaja statistika [The National Bank of Kazakhstan. Statistics. Monetary and banking statistics]. – URL: https://nationalbank.kz/ru/news/banking-sector-lending-to-economy-analytics/rubrics/2204#
12. Bjuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan [Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan]. – URL: https://stat.gov.kz/ru/

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_321 ӘОЖ 339.543.46

Қазақстанға шетелдік дифференциалдық тарифтерді енгізу тәжірибесі

[1]*АБДИКАРИМОВА Айман Мейрамкалиевна, магистр, аға оқытушы, aiko_02-80@mail.ru,
[1]КЕРНЕБАЕВ Айдын Сапарович, PhD., аға оқытушы, aidyn.kernebaev@gmail.com,
[1]КОРОЛЕВА Анна Алексеевна, магистр, аға оқытушы, annushka.koroleva@mail.ru,
[2]КОЧЕРБАЕВА Айнура Анатольевна, э.ғ.д., профессор, ainura_koch@mail.ru,
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Б.Н. Ельцин атындағы Қырғыз-Ресей Славян университеті, Киев көшесі, 44, Бішкек, Қырғызстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Бұл зерттеудің мақсаты – Қазақстанның қалалық көлік жүйесінде сараланған тариф жүйесін енгізудің маңыздылығын анықтау. Зерттеу барысында сараланған тариф жүйесінің теориялық негіздері, халықаралық тәжірибе, Қазақстандағы қазіргі жағдай және сараланған тарифті енгізудің ықтимал нәтижелері қарастырылады. Сараланған тариф жүйесі жолаушыларға әділ баға ұсынуға, көлік жүктемесін азайтуға және көлік қызметтерінің сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Зерттеу әдістері ретінде тарифтік жүйелердің математикалық модельдері, зоналық, уақыттық және санаттық модельдер қолданылды. Халықаралық тәжірибе көрсеткендей, сараланған тариф жүйесі көптеген елдерде сәтті қолданылып келеді және Қазақстан үшін маңызды сабақтар ұсына алады. Франция, Норвегия, Германия, Қытай және Ресей сияқты елдерде бұл жүйе жолаушыларға қолайлылықты арттырып, көлік жүктемесін азайтуға мүмкіндік береді. Қазақстанда сараланған тариф жүйесін енгізу көлік инфрақұрылымын жетілдіру және жолаушылар үшін әділетті баға жүйесін қалыптастыру үшін маңызды. Бұл жүйе әлеуметтік осал топтарға қолдау көрсетуге, көлік компанияларының кірісін тұрақтандыруға және экологиялық тиімділікті арттыруға көмектеседі. Зерттеу нәтижелері Қазақстанның көлік жүйесін жетілдіру үшін сараланған тариф жүйесін кезең-кезеңімен енгізудің маңыздылығын көрсетеді.

Кілт сөздер: сараланған тариф, қалалық көлік, жолаушылар, тарифтік жүйе, әділ баға, көлік жүктемесі, халықаралық тәжірибе, математикалық модельдер, зоналық модель, уақыттық модель, санаттық модель, әлеуметтік жеңілдіктер, көлік инфрақұрылымы, тариф әділдігі.

Кіріспе

Қалалық жолаушылар көлігінде жол жүру ақысын тарифтеу жүйелері қазіргі уақытта көптеген елдерде өзекті мәселе болып табылады. Тарифтік жүйелердің тиімділігі мен әділдігі жолаушылардың қанағаттанушылығына және көлік қызметтерінің сапасына тікелей әсер етеді. Қазақстанда көлікке сараланған тарифтерді енгізу тәжірибесі халықаралық тәжірибелерді қолдануды және тарифтік жүйелерді жергілікті жағдайларға бейімдеуді қамтиды [2].

Алайда, қазіргі уақытта Қазақстанда қолданылатын тарифтік жүйелердің кейбір аспектілері әлі де жетілдіруді қажет етеді. Мысалы, халықтың әлеуметтік осал топтары үшін жеңілдікті тарифтерді енгізу, аймақтық тарифтерді әзірлеу және жол ақысын төлеудің электрондық жүйелерін пайдалану мәселелері өзекті болып отыр.

Бұл мақалада қалалық жолаушылар көлігінде жол жүру ақысын тарифтеу жүйелері талданады, негізгі тарифтік құрылымдар салыстырылады, сондай-ақ, олардың Қазақстанда және шетелде пайдаланылуына қысқаша шолу жасалады.

Жолаушылар санының артуы, көлік инфрақұрылымының дамуы және тариф жүйесінің тиімділігін арттыру қажеттілігі өзекті мәселелерге айналды. Қалаларда көлік құралдарының саны көбейіп, жолаушылар ағыны артып келеді. Бұл жағдай көлік инфрақұрылымына үлкен жүктеме түсіреді және көлік қызметтерінің сапасын жақсартуды талап етеді. Осыған байланысты, сараланған тариф жүйесін енгізу қажеттілігі туындап

отыр.

Сараланған тариф жүйесі (дифференциалды тариф) әлемнің көптеген елдерінде сәтті қолданылып келеді.

Зерттеу әдістері

Сараланған тариф жүйесі көлік қызметтерінің құнын жолаушылардың сапар қашықтығына, уақытына немесе жолаушылар санатына байланысты өзгертуге негізделген. Бұл жүйе көлік инфрақұрылымының тиімділігін арттыруға және жолаушыларға әділ баға ұсынуға бағытталған. Тарифтің түрлері: Бірыңғай (жалпақ) тариф – барлық қашықтыққа бірдей баға. Бұл жүйе қарапайым және түсінікті, бірақ әділетсіз болуы мүмкін, себебі қысқа қашықтыққа сапар шегетін жолаушылар ұзақ қашықтыққа сапар шегетіндермен бірдей баға төлейді. Сараланған тариф – қашықтыққа, уақытқа немесе жолаушылар санатына байланысты өзгереді. Бұл жүйе әділеттілікті қамтамасыз етеді және көлік жүйесінің тиімділігін арттырады. Сараланған тарифтердің артықшылықтары: Баға әділдігін қамтамасыз ету – әрбір жолаушы сапар қашықтығына немесе уақытына сәйкес баға төлейді, бұл әділеттілікті арттырады. Жолаушылар ағынын тиімді басқару – тарифтерді уақытқа байланысты өзгерту арқылы көлік жүйесінің жүктемесін реттеуге болады. Айтар болсақ, шың уақыттарда жоғары тарифтер енгізу арқылы жолаушылар ағынын азайтуға болады. Әлеуметтік осал топтарға жеңілдіктер беру мүмкіндігі – студенттер, зейнеткерлер және басқа да әлеуметтік осал топтар үшін арнайы жеңілдіктер қарастыруға болады. Тариф жүйесін құруда қолданылатын негізгі математикалық модельдер: Сараланған тариф жүйесін құруда әртүрлі математикалық модельдер қолданылады. Олардың ішінде ең кең таралғандары: Зоналық модель – қала аумағы бірнеше тарифтік зоналарға бөлінеді, әр зона үшін әртүрлі тарифтер белгіленеді. Бұл модель қашықтыққа байланысты баға белгілеуге мүмкіндік береді [1]. Уақыттық модель – тарифтер тәулік уақытына байланысты өзгереді. Мысалы, шың уақыттарда жоғары тарифтер, ал шың емес уақыттарда төмен тарифтер қолданылады. Санаттық модель – жолаушылар санатына байланысты тарифтер белгіленеді. Студенттерге, зейнеткерлерге және басқа да әлеуметтік топтарға жеңілдіктер қарастырылады. Халықаралық тәжірибеде сараланған тариф жүйесі әлемнің көптеген елдерінде қолданылады [3]. Қалалық жолаушылар көлігі тарифтік жүйелері әр елде әртүрлі ерекшеліктерге ие және олардың нәтижелері экономикалық жағдайға, инфрақұрылымға және әлеуметтік бағдарламаларға байланысты болып келеді. Төменде Еуропа және Азия елдеріндегі сараланған тариф жүйесінің ерекшеліктері мен нәтижелері салыстырмалы түрде 1-кестеде көрсетілген.

Зерттеу нәтижелері

Сараланған тариф жүйесі әлемнің көптеген елдерінде сәтті қолданылып келеді. Әр елдің өзіне тән ерекшеліктері бар және бұл тәжірибелер Қазақстан үшін маңызды сабақтар ұсына алады. Төменде әртүрлі елдердегі тариф жүйесінің ерекшеліктері мен олардың Қазақстанға ұқсас және өзгеше жақтары талқыланады.

Тариф жүйесінің ерекшеліктері: Франция, Норвегия, Германия: Зоналық жүйе: Бұл елдерде қала аумағы бірнеше тарифтік зоналарға бөлінеді, әр зона үшін әртүрлі тарифтер белгіленеді. Бұл жүйе қашықтыққа байланысты баға белгілеуге мүмкіндік береді. Уақытқа негізделген билеттер: 90 минуттық немесе тәуліктік билеттер жолаушыларға қолайлылықты арттырады және көлік жүктемесін азайтады. Қытай (Пекин): Қашықтыққа байланысты баға жүйесі: Жолаушылар сапар қашықтығына байланысты баға төлейді [3]. Бұл жүйе әділеттілікті қамтамасыз етеді және көлік жүйесінің тиімділігін арттырады. Ресей: Тәулік уақытына байланысты тарифтер: Тарифтер тәулік уақытына байланысты өзгереді. Мысалы, шың уақыттарда жоғары тарифтер, ал шың емес уақыттарда төмен тарифтер қолданылады.

Қазақстанға ұқсас және өзгеше жақтары: Ұқсас жақтарына келсек Қазақстанның қалалық көлік жүйесі де жолаушылар санының артуы және көлік инфрақұрылымының дамуы сияқты мәселелермен бетпе-бет келеді. Қалаларда электрондық төлем жүйелері (валидаторлар) енгізілуде, бұл халықаралық тәжірибеге сәйкес келеді. Ал, өзгеше жақтары бойынша Қазақстанда сараланған тариф жүйесі толық енгізілмеген, көбінесе бірыңғай тариф қолданылады. Әлеуметтік осал топтарға жеңілдіктер беру жүйесі шектеулі. Тариф жүйесінің икемділігі төмен, бұл жолаушыларға қолайлылықты азайтады.

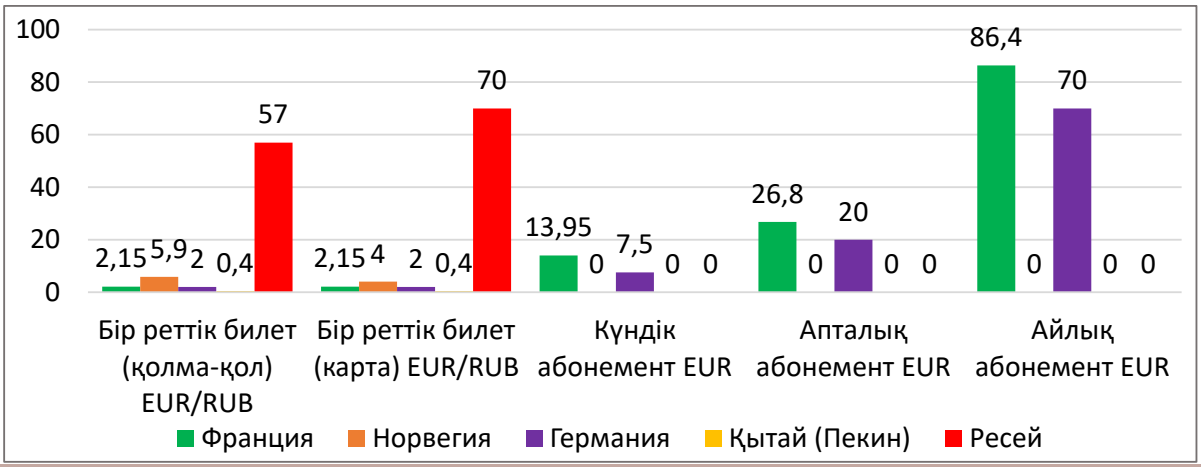
Халықаралық тәжірибе көрсеткендей, сараланған тариф жүйесі жолаушыларға әділ баға ұсынуға, көлік жүктемесін азайтуға және әлеуметтік осал топтарға қолдау көрсетуге көмектеседі. Қазақстанда бұл жүйені енгізу көлік инфрақұрылымын жақсартуға және жолаушылар үшін әділетті баға жүйесін қалыптастыруға мүмкіндік береді. Халықаралық тәжірибені ескере отырып, Қазақстанның көлік жүйесін жетілдіру маңызды [3].

Қазақстан қалаларында қолданылып жатқан тариф жүйесін сондай-ақ, оның артықшылықтары мен кемшіліктерін талқылап. Қазақстандағы қазіргі жағдайды және сараланған тариф жүйесін енгізудің қажеттілігін көруге болады.

1-кесте – Әртүрлі елдердегі қалалық жолаушылар көлігінің тариф жүйелерінің ерекшеліктері мен нәтижелері

Елдердің атауы	Тариф жүйесінің ерекшеліктері	Нәтижелері
Франция	Ticket t+ деп аталатын бірыңғай билет қолданылады, оны метро, автобус, трамвай және RER-де қала ішінде пайдалануға болады. Сондай-ақ, бірнеше күнге арналған абонементтер (Paris Visite) және Navigo апталық және айлық жолдамалары бар.	Әртүрлі көлік түрлерінің жоғары деңгейде интеграциясы және жолаушыларға ыңғайлылығы. Жүйе абонементтерге жеңілдіктер беру арқылы қоғамдық көлікті пайдалануды ынталандырады.
Норвегия	Жол жүру құны өткен аймақтардың санына байланысты. Балаларға, қарттарға және әскери қызметшілерге жеңілдіктер бар.	Әртүрлі жолаушылар санаттарын ескеретін және қоғамдық көлікті пайдалануды ынталандыратын икемді тарифтік жүйе.
Германия	Аймақтық тарифтер жүйесі қолданылады. Әртүрлі билеттер бар, соның ішінде, бір реттік, күндік, апталық және айлық абонементтер.	Жолаушылар үшін жоғары деңгейдегі ыңғайлылық пен икемділік. Жүйе тұрақты сапарларға үнемдеуге мүмкіндік береді.
Қытай (Пекин)	Метро жол жүру құны қашықтыққа байланысты. Автобустар мен троллейбустарда алғашқы 10 км үшін тұрақты төлем алынады, содан кейін әрбір келесі 5 км үшін қосымша төлем қосылады.	Жүйе, әсіресе метро, қысқа қашықтыққа төмен жол жүру құны арқылы қоғамдық көлікті пайдалануды ынталандырады.
Ресей	«Тройка» картасы бойынша төлем жүйесі қолданылады, бұл бір реттік сапарларға үнемдеуге мүмкіндік береді. Балалар мен қарттарға жеңілдіктер бар.	Жолаушылар үшін жоғары деңгейдегі ыңғайлылық пен қолжетімділік. Жүйе жол жүру билеттеріне жеңілдіктер беру арқылы қоғамдық көлікті пайдалануды ынталандырады.

Ескерту: дереккөз негізінде автор құрастырған [3]



1-сурет – Еуропа және Азия елдеріндегі қалалық жолаушылар көлігі тарифтік жүйелерінің салыстырмалы сипаттамасы

Қазақстан қалаларында қолданылып жатқан тариф жүйесін қарастырамыз. Соның ішінде, еліміздің ірі қалаларында, атап айтқанда, Алматы, Астана, Қарағанды және Шымкентте, қазіргі уақытта бірыңғай тариф жүйесі қолданылады. Бұл жүйе қарапайым және түсінікті болғанымен, оның бірнеше кемшіліктері бар.

Қазіргі жүйенің кемшіліктері: Бірыңғай тариф әділетсіздігі: Қысқа қашықтыққа сапар шегетін жолаушылар ұзақ қашықтыққа сапар шегетіндермен бірдей баға төлейді, бұл әділетсіздікке әкеледі. Сараланған тарифтің толық ендірілмеуі: Қазіргі жүйеде

сараланған тариф толық енгізілмеген, бұл көлік жүйесінің тиімділігін төмендетеді. Жолаушылар санатына байланысты жеткіліксіз жеңілдіктер: Әлеуметтік осал топтарға арналған жеңілдіктер жеткіліксіз [5].

Зерттеу нәтижесі бойынша еліміздің қазіргі жағдай мен сараланған тариф жүйесін енгізудің қажеттілігін қарастырамыз.

Қазақстан қалаларында қазіргі уақытта бірыңғай тариф жүйесі қолданылады. Бұл жүйе қарапайым және түсінікті болғанымен, әділетсіз болуы мүмкін. Қысқа қашықтыққа сапар шегетін жолаушылар ұзақ қашықтыққа сапар шегетіндермен бірдей баға төлейді. Сонымен қатар, жолаушылар санатына байланысты жеткіліксіз жеңілдіктер бар.

Сараланған тариф жүйесін енгізу қажеттілігі: Баға әділдігін қамтамасыз ету: Әрбір жолаушы сапар қашықтығына немесе уақытына сәйкес баға төлейді. Жолаушылар ағынын тиімді басқару: Тарифтерді уақытқа байланысты өзгерту арқылы көлік жүйесінің жүктемесін реттеуге болады. Әлеуметтік осал топтарға жеңілдіктер беру мүмкіндігі: Студенттер, зейнеткерлер және басқа да әлеуметтік осал топтар үшін арнайы жеңілдіктер қарастыруға болады.

Бұл зерттеу нәтижелері Қазақстанның көлік жүйесін жетілдіру үшін сараланған тариф жүйесін енгізудің маңыздылығын көрсетеді. Халықаралық тәжірибені ескере отырып, Қазақстанның көлік инфрақұрылымын жақсарту және жолаушылар үшін әділетті баға жүйесін қалыптастыру маңызды.

Қазақстан қалаларында қолданылып жатқан тариф жүйесін қарастыратын бол-

2-кесте – Қазақстан және басқа елдердегі қалалық жолаушылар көлігінің тариф жүйелерінің салыстырмалы сипаттамасы

Елдердің атауы	Тариф жүйесінің ерекшеліктері	Қазақстанға ұқсас жақтары	Қазақстанға өзгеше жақтары
Франция	Зоналық жүйе (қашықтыққа байланысты баға), уақытқа негізделген билеттер (90 минуттық немесе тәуліктік)	Қалалық көлік жүйесінің дамуы	Сараланған тариф жүйесінің толық енгізілуі
Норвегия	Зоналық жүйе, уақытқа негізделген билеттер	Қалалық көлік жүйесінің дамуы	Жолаушыларға қолайлылық деңгейі жоғары
Германия	Зоналық жүйе, уақытқа негізделген билеттер	Қалалық көлік жүйесінің дамуы	Тариф жүйесінің икемділігі
Қытай (Пекин)	Қашықтыққа байланысты баға жүйесі	Жолаушылар санының артуы	Сараланған тариф жүйесінің толық енгізілуі
Ресей	Тәулік уақытына байланысты тарифтер	Қалалық көлік жүйесінің дамуы	Тариф жүйесінің икемділігі
Ескерту: дереккөз негізінде автор құрастырған [3]			

3-кесте – Қазақстан қалаларындағы тариф жүйесі және электрондық төлем жүйесінің (валидаторлар) қолданылуы

Қала	Тариф жүйесі	Электрондық төлем жүйесі (валидаторлар)
Алматы	Бірыңғай тариф	Иә
Астана	Бірыңғай тариф	Иә
Қарағанды	Бірыңғай тариф	Иә
Шымкент	Бірыңғай тариф	Иә
Ескерту: Ескерту: дереккөздің қайнар көзіне сәйкес автор құрастырған [6]		

4-кесте – Қазақстандағы қалалық жолаушылар көлігінің тариф жүйесінің кемшіліктері

Кемшіліктер	Саны
Бірыңғай тариф әділетсіздігі	4
Сараланған тарифтің толық ендірілмеуі	4
Жолаушылар санатына байланысты жеңілдіктердің жеткіліксіздігі	4
Ескерту: дереккөз негізінде автор құрастырған [5]	

сақ: Еліміздің ірі қалаларында қоғамдық көлікте сараланған тарифтер, онлайн төлем немесе көлік карталары арқылы төлем жүйелері қолданылады. Төменде әр қаладағы тариф жүйесінің ерекшеліктері мен олардың артықшылықтары мен кемшіліктері талқыланады [5].

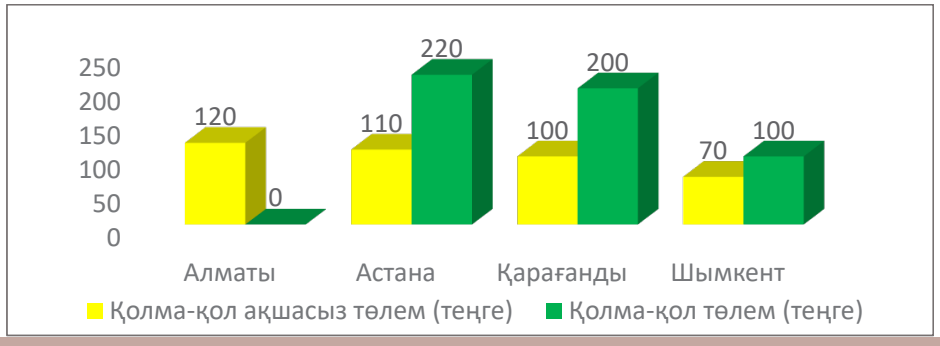
Қорытынды

Сараланған тариф жүйесін енгізу Қазақстанның көлік жүйесіне бірнеше жағымды әсерлер әкелуі мүмкін: **Экономикалық тиімділік:** Қызмет сапасын арттыру: Қосымша кірістер көлік құралдарын жаңартуға және қызмет көрсету сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Көлік компанияларының кірісін тұрақтандыру: Тарифтерді қашықтыққа, уақытқа немесе жолаушылар санатына байланысты өзгерту арқылы көлік компанияларының кірісін тұрақтандыруға болады. **Әлеуметтік әсер:** Әлеуметтік осал топтарға қолдау көрсету: Жеңілдіктер арқылы олардың көлік шығындарын азайтуға болады. Жолаушылар үшін тариф әділдігі: Әрбір жолаушы сапар қашықтығына немесе уақытына сәйкес баға төлейді, бұл әділеттілікті қамтамасыз етеді. **Экологиялық әсер:** Көлікті ұтымды пайдалану: Тарифтерді уақытқа байланысты өзгерту арқылы көлік жүйесінің жүктемесін реттеуге болады. Қалалық инфрақұрылымға түсетін жүктемені азайту: Көлік жүйесінің тиімділігін арттырып, қалалық инфрақұрылымға түсетін жүктемені азайтуға көмектеседі. Сараланған тариф жүйесін кезең-кезеңімен енгізу: Алдымен пилоттық жобаларды іске қосып, олардың нәтижелерін бағалау қажет. Сәтті болған жағдайда, жүйені барлық қалаларға іске асыруға болады.

Сараланған тариф жүйесі – бұл әртүрлі топтарға, әсіресе студенттерге, қоғамдық көлікте жеңілдіктер ұсыну арқылы әлеуметтік әділеттілікті қамтамасыз етуге бағытталған маңызды шара. Қазіргі уақытта Қазақстанның тек екі қаласында – Алматы мен Шымкентте – студенттерге жеңілдіктер қарастырылған. Сараланған тариф жүйесін кеңейту арқылы еліміздегі барлық студенттерге бірдей мүмкіндіктер беру қажет.

Қазіргі заманғы цифрлық технологиялар қоғамдық көлікте төлем жүйелерін жетілдіруге мүмкіндік береді. Қазақстанның барлық қалаларында бірыңғай онлайн картасын енгізу, сондай-ақ, қала қонақтарына апталық және айлық онлайн карталарын ұсыну – қоғамдық көлікті пайдалануды ыңғайлы әрі тиімді етеді. Қала қонақтарына арналған қысқа мерзімді карталар олардың көлік шығындарын жоспарлауға және оңтайландыруға мүмкіндік береді. Қысқа мерзімді карталар қонақтарға қоғамдық көлікті еркін пайдалануға жағдай жасайды.

Онлайн картасын төлем жасағанда екі немесе үш адамның қолдануы бір отбасы үшін ыңғайлы және тиімді. Бұл бастама әлеуметтік әділеттілікті қамтамасыз етіп, тұрғындар мен қонақтардың өмір сүру сапасын арттырады. Халықаралық тәжірибе көрсеткендей, сараланған тариф жүйесі көптеген елдерде сәтті



2-сурет – Қазақстан қалаларында қолданылып жатқан тариф жүйесі

5-кесте – Астана қаласындағы қоғамдық көліктегі сараланған тарифтер

Төлем түрлері	Қолма-қол ақшасыз төлем Тариф (теңге)	Қолма-қол төлем Тариф (теңге)
Қалалық автобустар	110	220
Экспресс автобустар	250	350
Қала маңындағы автобустар	9.5	14
Ескерту: дереккөздің қайнар көзіне сәйкес автор құрастырған [5]		

қолданылып келеді. Бұл жүйе жолаушыларға қолайлылықты арттырып, көлік жүктемесін азайтуға мүмкіндік береді. Қазақстан да осы тәжірибені қолдана отырып, көлік инфрақұрылымын жақсарта алады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Vukan, R.V – Urban Transit: Operations, Planning and Economics. – 2015. – Pp. 384-389.
2. Основы экономики автомобильного транспорта: учебное пособие [Электронный ресурс] / О.Ю. Матанцева – М.: Юстицинформ, 2015. – Режим доступа: http://www.medcollegelib.ru/book/ISBN9785720512781.html – Дата доступа: 21.01.2019.
3. Китай: В Пекине увеличивается стоимость проезда на общественном транспорте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www. spbhotel.su/kitaj-v-pekine-uvelichivaetsya-stoimost-proezda-na-obshhestvennom-transporte/
4. Плата в Астане будет дифференцированной [Электронный ресурс]. – Режим доступа:www. tengrinews.kz/kazakhstan_news/plata-za-proezd-v-astane-budet-differentsirovannoy-260651/
5. Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www. ru.wikipedia.org/?oldid=70390495
6. Фролова Т.А. Экономика предприятия: Конспект лекций [Электронный ресурс] / Т.А. Фролова. – Таганрог: ТТИ ФЮУ, 2012. – Режим доступа: http://www.aup.ru/books/m218/ – Дата доступа: 2.02.2019.

Опыт внедрения иностранных дифференцированных тарифов в Казахстан

[1]*АБДИКАРИМОВА Айман Мейрамкалиевна, *магистр, старший преподаватель, aiko_02-80@mail.ru,*
[1]КЕРНЕБАЕВ Айдын Сапарович, *PhD, старший преподаватель, aidyn.kernebaev@gmail.com,*
[1]КОРОЛЕВА Анна Алексеевна, *магистр, старший преподаватель, annushka.koroleva@mail.ru,*
[2]КОЧЕРБАЕВА Айнура Анатольевна, *д.э.н., профессор, ainura_koch@mail.ru,*
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина, ул. Киевская, 44, Бишкек, Кыргызстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Цель данного исследования – определить важность внедрения дифференцированной тарифной системы в городской транспортной системе Казахстана. В ходе исследования рассматриваются теоретические основы дифференцированной тарифной системы, международный опыт, текущая ситуация в Казахстане и возможные результаты внедрения дифференцированного тарифа. Дифференцированная тарифная система позволяет предложить пассажирам справедливую цену, снизить нагрузку на транспорт и повысить качество транспортных услуг. В качестве методов исследования использовались математические модели тарифных систем, зональные, временные и категорийные модели. Международный опыт показывает, что дифференцированная тарифная система успешно применяется во многих странах и может предложить важные уроки для Казахстана. В таких странах, как Франция, Норвегия, Германия, Китай и Россия, эта система позволяет повысить удобство для пассажиров и снизить нагрузку на транспорт. Внедрение дифференцированной тарифной системы в Казахстане важно для улучшения транспортной инфраструктуры и создания справедливой системы ценообразования для пассажиров. Эта система поможет поддержать социально уязвимые группы, стабилизировать доходы транспортных компаний и повысить экологическую эффективность. Результаты исследования показывают важность поэтапного внедрения дифференцированной тариф-*

ной системы для улучшения транспортной системы Казахстана.

Ключевые слова: *дифференцированный тариф, городской транспорт, пассажиры, тарифная система, справедливая цена, транспортная нагрузка, международный опыт, математические модели, зональная модель, временная модель, категорийная модель, социальные льготы, транспортная инфраструктура, тарифная справедливость.*

Experience in Introducing Foreign Differential Tariffs in Kazakhstan

[1]*ABDIKARIMOVA Ayman, *Master's Degree, Senior Lecturer, aiko_02-80@mail.ru,*
[1]KERNEBAEV Aydin, *PhD, Senior Lecturer, aidyn.kernebaev@gmail.com,*
[1]KOROLEVA Anna, *Master's Degree, Senior Lecturer, annushka.koroleva@mail.ru,*
[2]KOCHERBAEVA Ainura, *Doctor of Economics, Professor, ainura_koch@mail.ru,*
[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Kyrgyz-Russian Slavic University named after B.N. Yeltsin, Kievskaya Street, 44, Bishkek, Kyrgyzstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The aim of this study is to determine the importance of implementing a differentiated tariff system in the urban transport system of Kazakhstan. The study examines the theoretical foundations of the differentiated tariff system, international experience, the current situation in Kazakhstan, and the potential outcomes of implementing differentiated tariffs. A differentiated tariff system allows for fair pricing for passengers, reduces transport load, and improves the quality of transport services. The research methods used include mathematical models of tariff systems, zonal, temporal, and categorical models. International experience shows that the differentiated tariff system is successfully applied in many countries and can offer important lessons for Kazakhstan. In countries such as France, Norway, Germany, China, and Russia, this system increases passenger convenience and reduces transport load. Implementing a differentiated tariff system in Kazakhstan is important for improving transport infrastructure and creating a fair pricing system for passengers. This system will help support socially vulnerable groups, stabilize the income of transport companies, and increase environmental efficiency. The results of the study highlight the importance of phased implementation of a differentiated tariff system to improve Kazakhstan's transport system.*

Keywords: *differentiated tariff, urban transport, passengers, tariff system, fair pricing, transport load, international experience, mathematical models, zonal model, temporal model, categorical model, social benefits, transport infrastructure, tariff fairness.*

REFERENCES

1. Vukan, R.V – Urban Transit: Operations, Planning and Economics. – 2005. – Pp. 384-389.
2. Fundamentals of the economics of motor transport: a textbook [Electronic resource] / O.Y. Matantseva – Moscow: Justicinform, 2015. – Access mode: http://www.medcollegelib.ru/book/ISBN9785720512781.html – Access date: 21.01.2019.
3. China: Public transport fares are increasing in Beijing [Electronic resource]. – Access mode: www. spbhotel.su/kitaj-v-pekine-uvelichivaetsya-stoimost-proezda-na – obshestvennom-transporte/
4. The fee in Astana will be differentiated [Electronic resource]. – Mode доступа:www.tengrinews.kz/kazakhstan_news/plata-za-proezd-v-astane-budet-differentsirovannoy-260651/
5. Wikipedia is a free encyclopedia [Electronic resource]. – Access mode: www. ru.wikipedia.org /?oldid=70390495
6. Vukan R. Vuchik. Transport in cities convenient for life / R.V. Vukan – The territory of the future, 2011. – 576 p.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_328 ӘОЖ 339.5.053.7

Қазақстан мен Өзбекстан: шекаралас аумақтардағы экономикалық ынтымақтастық

***БАҒАЕВА Нәзікен Ұзаққызы,** э.ғ.к., жетекші ғылыми қызметкер, bagayeva@mail.ru,*
***СУЛЕЙМЕНОВА Арайлым Шаймұратқызы,** докторант, ғылыми қызметкер, shaimuratovna@mail.ru,*
Экономика институты, Шевченко көшесі, 28, Алматы, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Қазіргі уақытта Орталық Азияны дамытудың өзекті мәселелерінің бірі Қазақстан мен Өзбекстан арасындағы трансшекаралық сауданы кеңейту және тереңдету болып табылады. Алайда, мамандардың пікірінше [1], көршілес екі елдің трансшекаралық саудасы әлемдегі ең нашар көрсеткіштерімен сипатталады, бұл екі жақтың осы аумақтардағы экономикалық белсенділіктің өте төмен деңгейін көрсетеді. Зерттеудің мақсаты – екі елдің шекаралас ынтымақтастығының қазіргі жағдайын зерттеу болып табылады. Зерттеудің негізгі құралдары ретінде талдау мен топтастырудың экономикалық-статистикалық әдістері, құрылымдық талдау, салыстыру және ұқсастық әдістері қолданылды. Ғылыми әдебиеттерді, сондай-ақ, Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және экономикалық реформалар Агенттігінің статистика бюросының, Өзбекстан Республикасы Президентінің жанындағы Статистика агенттігінің жарияланған мәліметтерін зерделеу негізінде іргелес мемлекеттердің шекаралас ынтымақтастығының қазіргі жағдайы анықталды. Жалпы Өзбекстан бойынша да, елдің барлық он екі облысы бойынша да сыртқы сауда айналымының динамикасы көрсетілді және бағасы берілді. Бұл ретте Қазақстанмен шекаралас аумақтарға ерекше назар аударылды. Сонымен қатар, деректердің статистикалық талдауы Өзбекстан өңірлерінің біркелкі дамуын бағалауға мүмкіндік берді.*

***Кілт сөздер:** шекаралас аумақтар, халықаралық интеграция, трансшекаралық сауда, бірлескен кәсіпорындар, экономикалық ынтымақтастық, шетел капиталы.*

Кіріспе

Шекаралас аумақтар мен шекара маңындағы сауданың әлеуметтік-экономикалық дамуының қажеттілігі мен орындылығы «Шекараны дамытудың қытайлық тұжырымдамасында» егжей-тегжейлі баяндалған. Осы тұжырымдамаға сәйкес шекаралас аудандарда орналасқан компаниялар мен кәсіпорындарға шекара маңындағы сауда операцияларын лицензиялау мен квоталаудың жеңілдетілген тәртібі, табыс салығының төмендетілген мөлшерлемесі, компанияларды тіркеудің жеңілдетілген рәсімі және т.б. сияқты артықшылықтар ұсынылады [2].

Шетелдік зерттеушілердің пікірінше, шекаралас елдердің шекара маңындағы аумақтарын дамыту өңірлік өзара әрекеттесудің ең тиімді әдістерінің бірі болып табылады және қоршаған ортаны қорғау, мәдениет, энергетика, көлік тасымалы және т.б. сияқты экономика салаларына қолданылады [3], [4], [5]. Зерттеушілердің пікірінше, іргелес елдер үшін ресурстарды ұтымды бөлуді қамтамасыз ету және ұлттық экономикалардың тұрақты дамуына ықпал ету үшін бір-бірімен ынтымақтасу маңызды.

Қазақстан мен Өзбекстан бүгінгі таңда Орталық Азиядағы аса маңызды стратегиялық әріптестер болып табылады. Осы екі елдің аумағында көмірсутектер, уран, алтын, газ, мұнай, түсті металдар сияқты табиғи ресурстардың үлкен қоры шоғырланған. Сонымен қатар, екі мемлекет те айтарлықтай экономикалық және адами әлеуетке ие, ортақ тарихи, мәдени, тілдік және діни тамырлармен байланысты, сонымен қатар, 2200 км-ден сәл асатын жалпы шекарамен біріктірілген [6].

Қазақстан мен Өзбекстан арасындағы қарым-қатынас достық, татулық және өзара сыйластық қағидаттарына негізделетінін және көптеген бағыттар бойынша дамуын жалғастыратынын атап өту қажет. Соңғы бірнеше жылда елдер арасында өңірдегі қауіпсіздік, энергетика, суды пайдалану экологиясы және басқа да көптеген салаларда ғана емес, сонымен қатар, шекаралас аймақтар арасындағы ынтымақтастықты ке-

ңейту саласында ынтымақтастық жөніндегі қызмет жандана түскені назар аудартады.

Әдістеме

Бұл жұмыстың зерттеу стратегиясы қарастырылып отырған мәселенің теориялық ережелерін зерттеуді қамтиды. Теориялық зерттеудің ақпараттық-эмпирикалық базасын жалпы Өзбекстан Республикасының, сондай-ақ, оның барлық облыстарының, оның ішінде, Қазақстан мен Өзбекстанның шекаралас аймақтарының сыртқы сауда айналымы туралы статистикалық ақпарат, жалпы елдегі, аймақтардағы шетелдік капиталы бар кәсіпорындардың саны туралы ақпарат, мемлекеттік заңнамалық актілер, шекаралас мемлекеттердің трансшекаралық ынтымақтастық мәселелеріне қатысы бар ашық баспасөзде және Интернет желісінде жарияланған отандық және шетелдік ғалымдардың теориялық әзірлемелері, сондай-ақ, экономикалық және экологиялық шолулар, бюллетеньдер және т.б. құрады.

Мақсатқа жету үшін зерттеудің келесідей теориялық әдістері қолданылды: заңдылықтарды, тенденцияларды анықтауға мүмкіндік беретін талдау; зерттеу пәнінің құрамдас бөліктері арасындағы байланыстар туралы түсінік алуға мүмкіндік беретін синтез; тиісті тұжырымдарды тұжырымдау мақсатында толықтыру және жалпылау. Қолданылған әдістер авторларға зерттеу пәнін зерттеуге кешенді көзқарасты жүзеге асыруға мүмкіндік берді.

Нәтижелер мен талқылаулар

Дүниежүзілік банктің деректеріне сәйкес болжамды деректерді қоса алғанда, Өзбекстанның негізгі экономикалық көрсеткіштері, сондай-ақ, халық санының динамикасы 1-кестеде келтірілген.

Ұсынылған мәліметтерден көріп отырғанымыздай, 2024 жылы нақты ЖІӨ-нің өсу қарқыны өткен 2023 жылмен салыстырғанда төмендейді деп күтілуде, алайда, номиналды ЖІӨ-нің өсуі шамамен 16%-ға артады деп күтілуде. Ал 2020 жылмен салыстырғанда номиналды ЖІӨ өсімі 203% құрайды. Жан басына шаққандағы ЖІӨ біртіндеп өсуде және 2024 жылы оның өсуі 2020 жылмен салыстырғанда 50%-дан асады деп күтілуде. Дүниежүзілік банктің болжамы бойынша республика халқы 5 жыл ішінде 2,8 млн адамға немесе 8,3%-ға ұлғаяды. Ал өткен жылмен салыстырғанда 2024 ж. халық саны 2%-ға артады.

Қазіргі кезеңде Өзбекстан экономикасының қарқынды дамуы көбінесе оның «қуып жететін даму тұжырымдамасын» қолдануымен және жұмыс күші санының артуымен түсіндіріледі. Сонымен қатар, мамандардың айтуынша, Өзбекстанның табыс деңгейі бойынша Орталық Азияда көшбасшысы болып табылатын Қазақстанмен жақындасуы баяу жүруде, ал алшақтық әлі де айтарлықтай. 2023 ж. қорытындысы бойынша сатып алу қабілетінің паритеті бойынша жан басына шаққандағы Өзбекстанның ЖІӨ Қазақстан көрсеткішінің 19%-ын (13136,5 долл.) құрайды [8]. Қалыптасқан жағдайдың себептерінің біріне Өзбекстан экономикасының негізгі секторлардың өнімділігінің төмендігі жатады, ал төмен өнімділік өз кезегінде инвестициялардың, заманауи технологиялардың жетіспеушілігімен, сондай-ақ, шынайы талаптарға жауап бермейтін инфрақұрылымның жағдайымен байланысты [9].

2023 ж. қорытындысы бойынша Қазақстан мен Өзбекстан арасындағы тауар айналымы 4,4 млрд долл. сәл асты, бұл 2022 ж. салыстырғанда 10%-ға аз (2-кесте).

Кестеге сәйкес көрсетіліп отырған кезең аралықта Өзбекстанның Қазақстанмен жалпы сауда көлемі 51%-ға өсті, Өзбекстанға экспорттың өсу қарқыны 146,6%-ды, ал импорттың өсу қарқыны 162,5%-ды құрады. Алайда, 2023 ж. елдер арасындағы тауар айналымының жалпы көлемі 2022 ж. салыс-

1-кесте – Өзбекстан Республикасының жекелеген экономикалық көрсеткіштерінің динамикасы

	2020 ж.	2021 ж.	2022 ж.	2023 ж.	2024 ж. (болжам)	Өсу қарқыны 2024 ж. 2020 ж. қарай, %	Өсу қарқыны 2024 ж. 2023 ж. қарай, %
Нақты ЖІӨ өсу қарқыны, %	2,0	7,4	5,7	5,7	5,2	-	-
Номиналды ЖІӨ, трлн сом	606	738	897	1063	1230	203,0	115,7
Жан басына шаққандағы ЖІӨ, АҚШ долл.	1776	2014	2301	2499	2668	150,2	106,8
Халық саны, млн адам	33,9	34,6	35,3	36,0	36,7	108,3	101,9
Ескерту: [7] деректері негізінде есептелген							

2-кесте – Қазақстанның Өзбекстанмен сауда көлемінің динамикасы, мың долл.

	2020 ж.	2021 ж.	2022 ж.	2023 ж.	Өсу қарқыны 2023 ж. 2020 ж. қарай, %	Өсу қарқыны 2023 ж. 2022 ж. қарай, %
Барлығы	2930694,5	3833914,1	4921935,9	4421869,2	150,9	89,8
Экспорт	2137667,8	2776871,2	3635821,7	3133078,5	146,6	86,2
үлес салмағы, %	72,9	72,4	73,9	70,9	-	-
Импорт	793026,7	1057043,0	1286114,2	1288790,7	162,5	100,2
үлес салмағы, %	27,1	27,6	26,1	29,1	-	-
Ескерту: [8] деректері негізінде есептелген						

тырғанда 10%-ға қысқарды, қазақстандық тауарларды экспорттау көлемі 14%-ға төмендеп, 3,1 млрд долл. құрады. Бұл ретте импорт көлемі іс жүзінде сол деңгейде қалды.

Өзбекстан Республикасы Президенті жанындағы Статистика агенттігінің мәліметінше, 1 ақпан 2024 ж. республикада шетелдік инвестициялардың қатысуымен 14199 кәсіпорын мен ұйым жұмыс істейді, оның ішінде, 1084 бірлік Қазақстан Республикасымен құрайды. Кәсіпорындардың саны бойынша Ресей көш бастап тұр – 3049 бірлік.

Айта кету керек, Қазақстан Республикасымен Ташкент облысының, Сырдария облысының және Науаи облысының бірнеше аудандары, сондай-ақ, Қарақалпақстан Республикасының Күнград, Мойнақ, Тахтақұпыр аудандары шектеседі. Қарақалпақстан Республикасы бойынша бірлескен меншік нысанындағы кәсіпорындардың қызметі туралы статистикалық ақпараттың болмауына байланысты осы өңірдегі кәсіпорындардың қызметіне талдау жүргізу мүмкін емес.

Өзбекстанның барлық он екі облыс бойынша сыртқы сауда айналымының динамикасын салыстырмалы талдауы республиканың әртүрлі аймақтарының дамуы біркелкі емес екендігіне қорытынды жасауға мүмкіндік берді. Мәселен, 2012-2022 жж. дейінгі онжылдық кезеңде сыртқы сауда айналымының ең жоғарғы өсу қарқыны Наманған облысында (456,9%), Хорезм облысында (263,9%), Сырдария облысында (251,8%) және Жизақ облысында (223,8%) байқалды. Зерттеу кезеңінде сыртқы сауда айналымының төмендеуі екі облыста байқалды: Қашқадария облысы (71,3%) және Сурхандария облысы (89,0%). Алайда, Қазақстанмен шекаралас облыстарда 2013 ж. салыстырғанда 2022 ж. айналым өсімі: Навоя облысында – 113,8%, Сырдария облысында – 251,8% және Ташкент облысында – 168,3% байқалады. Белгілі бір дәрежедегі шарттылықпен бұл көрсеткіш Қазақстанмен шектесетін осы аудандардың экономикалық дамуы қазақстандық капиталдың қатысуымен құрылған кәсіпорындардың үлесі есебінен тұрақты деп қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Қазақстанның Өзбекстанмен бірлескен кәсіпорындарының құрылымы мен жалпы санын сипаттайтын деректер 3-кестеде келтірілген.

3-кесте көрсетілгендей, бірлескен меншік нысаны бар кәсіпорындардың ең көп саны көтерме және бөлшек саудада байқалады. Екінші орында – өңдеу өнеркәсібі саласындағы кәсіпорындар. Құрылыс саласында бірлескен меншік нысаны бар 48 кәсіпорын болды.

Өзбекстанның екі шекаралас облысы бойынша шетелдік капиталы бар кәсіпорындар санының динамикасы келесі суретте көрсетілген.

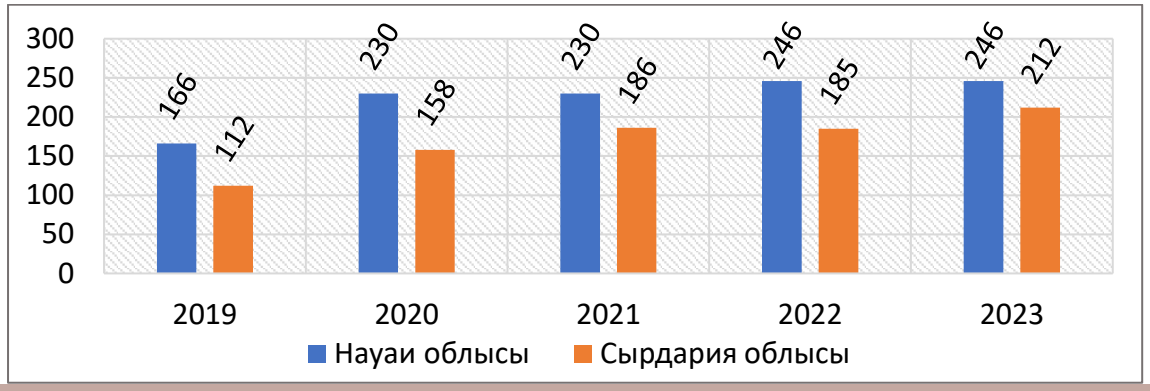
Суретте көрсетілгендей, бес жыл ішінде осы салалар бойынша шетелдік капиталы бар кәсіпорындар санының айтарлықтай өсуі байқалады. Бұл ретте, 2023 ж. арналған Статистика агенттігінің деректері бойынша, бұл облыстарда Қазақстаннан кәсіпорындардың саны Сырдария облысында 22 бірлікті және Науаи облысында 8 бірлікті құрайды. Өзбекстанда шетел капиталы бар, оның ішінде, қазақстандық кәсіпорындардың санының өсу тенденциясы елдің шет мемлекеттермен ынтымақтастығының артқанын көрсетеді.

Сонымен қатар, Науаи облысында соңғы 5 жылда шетел капиталымен жұмыс істейтін кәсіпорындардың саны 2 есеге артты. Кәсіпорындардың ең көп саны Қытай Халық Республикасына (ҚХР) тиесілі-21,1%, Қазақстан үлесіне 4,0% келеді.

Сырдария облысында 2023 ж. басында шетел капиталының қатысуымен 212 кәсіпорын болған. Кәсіпорындардың ең көп саны ҚХР-ға тиесілі: жалпы санының 25%-дан астамы. Қазақстан Республикасының үлесіне 10,4% келеді.

3-кесте – 2023 жылғы 1 сәуірге бірлескен меншік нысаны бар жұмыс істеп тұрған заңды тұлғалар мен филиалдар. Қатысушы ел – Өзбекстан

Сала	Саны
Ауыл, орман және балық шаруашылығы	20
Тау-кен өнеркәсібі және карьерлерді қазу	11
Өңдеу өнеркәсібі	52
Электр энергиямен, газбен, бумен, ыстық сумен және кондиционерленген ауамен жабдықтау	1
Сумен жабдықтау; қалдықтарды жинау, өңдеу және жою, ластануды жою жөніндегі қызмет	7
Құрылыс	48
Көтерме және бөлшек сауда; автомобильдер мен мотоциклдерді жөндеу	162
Тасымалдау және қоймалау	20
Тұру және тамақтану қызметтерін ұсыну	15
Ақпарат және байланыс	12
Қаржылық және сақтандыру қызметі	15
Жылжымайтын мүлікпен операциялар	18
Кәсіби, ғылыми және техникалық қызмет	29
Әкімшілік және қосалқы қызмет көрсету қызметі	14
Білім беру	7
Денсаулық сақтау және халыққа әлеуметтік қызмет көрсету	4
Өнер, ойын-сауық және демалыс	7
Қызметтің басқа түрлерін ұсыну	55
Барлығы	497
Ескерту: [8] деректері негізінде есептелген	



Өзбекстан Республикасының Сырдария және Науаи облыстары бойынша жұмыс істеп тұрған шетелдік капиталы бар кәсіпорындар санының динамикасы (1 қаңтар 2023 жылға)

Ескерту: [10] деректері негізінде құрастырылған

Ташкент облысында тіркелген шетел капиталы бар кәсіпорындар мен ұйымдардың саны 2023 ж. басында 1745 бірлікті құрады, оның 1423-і немесе 81,5%-ы жұмыс істеп тұр. Айта кету керек, бұл көрсеткіш өткен жылдың сәйкес кезеңімен салыстырғанда 196 бірлікке немесе 13,6%-ға өсті. Кәсіпорындардың құрылымына келетін болсақ, мұнда да Қытай капиталы бар кәсіпорындар жетекші орын алады: олардың үлесіне жалпы санының 26,6%, Түркияның үлесіне 13,2%, Ресей Федерациясының үлесіне 10,6%, ал

Қазақстанның үлесіне 5,4% келеді.

Қорытынды

Осылайша, зерттеулер Қазақстанмен шекаралас облыстарда соңғы 5 жылда шетелдік капиталы бар кәсіпорындар санының айтарлықтай өскенін көрсетті. Бұл тенденция, Өзбекстан мен Қазақстан арасындағы ынтымақтастығының тиімділігінің артқанын айғақтайтыны сөзсіз.

Зерттеу нәтижелері бойынша 2023 ж. бірлескен меншік нысанындағы (Қазақстан-Өзбекстан) кәсіпорындардың ең көп саны көтерме және бөлшек саудада байқалды. Екінші орында – өңдеу өнеркәсібі саласындағы кәсіпорындар. Құрылыс саласында бірлескен меншік нысаны бар 48 кәсіпорын болды.

Өзбекстанның әртүрлі өңірлерінің бірқелкі дамымағанына қарамастан, Қазақстанмен шекаралас аумақтарда сыртқы сауда айналымы өсу тенденциясына ие. Белгілі бір дәрежедегі шарттылықпен бұндай нәтиже қазақстандық капиталдың қатысуымен құрылған кәсіпорындардың үлесі есебінен Қазақстанмен шекаралас аумақтардың экономикалық дамуы тұрақты деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, көтерме және бөлшек саудадағы кәсіпорындарды, сондай-ақ, денсаулық сақтау саласындағы кәсіпорындарды қоспағанда, 2024 ж. басы 2022 ж. салыстырғанда, соңғы үш жылда Өзбекстанда жұмыс жасап тұрған шетел капиталы бар кәсіпорындар санының азаюы байқалады. Әсіресе өнеркәсіп өндірісі мен құрылыс салаларында айтарлықтай төмендеу болды. Сонымен қатар, тұру және тамақтану қызметтерін көрсететін кәсіпорындардың саны айтарлықтай азайды. Бұл ретте барлық позициялар бойынша ең жоғары көрсеткіштерге өткен 2023 ж. қол жеткізілді.

Кейбір теріс тенденцияларға қарамастан, Өзбекстан Республикасы қазіргі таңда ашық және ұзақ мерзімді тұрақты дамуға бағытталған, көршілес мемлекеттермен тату көршілік қатынастарды нығайтуға және халықаралық ынтымақтастықты өтеусіз негізде кеңейтуге ықпал ететін жаңа сыртқы саясатты жүзеге асыруда. Бұл саясаттың нәтижесі Қазақстанмен шекара маңындағы сауданы кеңейту және тереңдету болмақ.

Қаржыландыру. *Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің ИРН AP14869893 «Көрші елдердің шекаралас аймақтарындағы ынтымақтастықтың жаңа форматтары: Қазақстан мен Өзбекстанның ұлттық экономикалары үшін экономикалық әріптестіктің факторлары, шарттары мен басымдықтары» жоба аясында жүзеге асырылды.*

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Analysis of Informal Obstacles to Cross-Border Economic Activity in Kazakhstan and Uzbekistan / Vakulchuk R., Irnazarov F. // ADB Working Paper Series on Regional Economic Integration. 130, 2014. 40 с.
2. Особенности и перспективы социально-экономического развития приграничных районов Узбекистана / Мамадалиева Э.Р. // Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество, (4-1), 2021. С. 702-704.
3. European Union Tools for the Sustainable Development of Border Regions / Chirodea F., Soproni L., Marian M. // Sustainability 16, 2024. 388 с. https://doi.org/10.3390/su16010388
4. Cross-Border Shopping on the European Union Fast-Moving Consumer Goods Market: Determinants of Lithuanian Shoppers' Behavior in Poland / Pilelienė L., Batyk I.M., Žukovskis J. // Sustainability 16, 2024. 102 с. https://doi.org/10.3390/su16010102
5. Economic and Spatial Restructuring in the Aras Economic Zone: The Impact of Cross-Border Cooperation / Jafarzadeh H., Feng Y. // Sustainability 15 (13): 10289. 2023. https://doi.org/10.3390/su151310289
6. Казахстан – Узбекистан: история сотрудничества и перспективы взаимодействия / Ханова И.Е. // Вестник РГГУ. Серия «Политология. История. Международные отношения». (4/1), 2017. С. 79-89.
7. Миссия МВФ завершила рабочий визит в Узбекистан // International Monetary Fund. 2023. URL: https://www.imf.org/ru/News/Articles/2023/12/21/pr23472-uzbekistan-imf-staff-concludes-staff-visit
8. Официальный сайт Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан: https://stat.gov.kz/ru/
9. Отчет Евразийского банка развития. Экономика Центральной Азии: новый взгляд. 2022. https://eabr.org/upload/iblock/d0b/EDB_2022_Report-3_The-Economy-of-CA_rus.pdf-
10. Agency of Statistics under the President of the Republic of Uzbekistan. 2023. https://stat.uz/ru/ofitsialnaya-statistika/merchandise-trade

Казахстан и Узбекистан: экономическое сотрудничество на приграничных территориях

***БАГАЕВА Назикен Узаковна,** к.э.н., ведущий научный сотрудник, bagayeva@mail.ru,
СУЛЕЙМЕНОВА Арайлым Шаймуратовна, докторант, научный сотрудник, shaimuratovna@mail.ru,
Институт экономики, ул. Шевченко, 28, Алматы, Казахстан,
*автор-корреспондент.

***Аннотация.** В настоящее время одним из актуальных вопросов развития Центральной Азии является расширение и углубление трансграничной торговли между Казахстаном и Узбекистаном. Однако, по мнению специалистов [1], эти две соседние страны характеризуются одними из худших в мире показателями трансграничной торговли, что говорит о чрезвычайно низком уровне экономической активности в этих зонах с обеих сторон. Целью исследования является изучение современного состояния приграничного сотрудничества двух стран. В качестве основных инструментов исследования были использованы экономико-статистические методы анализа и группировок, структурного анализа, методы сравнений и аналогий. На основе изучения научной литературы, а также опубликованных данных Бюро по статистике Агентства по стратегическому планированию и экономическим реформам Республики Казахстан, Агентства статистики при Президенте Республики Узбекистан было выявлено современное состояние приграничного сотрудничества сопредельных государств, показана динамика и дана оценка внешнеторгового оборота как в целом по Узбекистану, так и по всем двенадцати областям государства. При этом акцентировано внимание именно на приграничных с Казахстаном областях. Кроме того, статистический анализ данных позволил дать оценку равномерности развития регионов Узбекистана.*

***Ключевые слова:** приграничные территории, международная интеграция, трансграничная торговля, совместные предприятия, экономическое сотрудничество, иностранный капитал.*

Kazakhstan and Uzbekistan: Economic Cooperation in Border Areas

***BAGAEVA Naziken,** Cand. of Econ. Sc., Leading Researcher, bagayeva@mail.ru,
SULEIMENOVA Arailym, Doctoral Student, Researcher, shaimuratovna@mail.ru,
Institute of Economics, 28 Shevchenko Street, Almaty, Kazakhstan,
*corresponding author.

***Abstract.** Currently, one of the urgent issues of the development of Central Asia is the expansion and deepening of cross-border trade between Kazakhstan and Uzbekistan. However, according to experts [1], these two neighboring countries are characterized by some of the worst indicators of cross-border trade in the world, which indicates an extremely low level of economic activity in these zones on both sides. The purpose of the research in this article is to study the current state of cross-border cooperation between the two countries. Economic and statistical methods of analysis and grouping, structural analysis, methods of comparisons and analogies were used as the main research tools. Based on the study of scientific literature, as well as published data from the Bureau of Statistics of the Agency for Strategic Planning and Economic Reforms of the Republic of Kazakhstan, the Agency for Statistics under the President of the Republic of Uzbekistan, the current state of cross-border cooperation between neighboring states was revealed, the dynamics and assessment of foreign trade turnover were shown both in Uzbekistan as a whole and in all twelve regions of the state. At the same time, attention is focused on the regions bordering with Kazakhstan. In addition, statistical analysis of the data made it possible to assess the uniformity of development of the regions of Uzbekistan.*

***Keywords:** border territories, international integration, cross-border trade, joint ventures, economic cooperation, foreign capital.*

REFERENCES

1. Vakulchuk R., Irnazarov F. Analysis of Informal Obstacles to Cross-Border Economic Activity in Kazakhstan and Uzbekistan [ADB Working Paper Series on Regional Economic Integration]. No. 130. 2014. 40 p.
2. Mamadalieva E.R. Features and prospects of socio-economic development of the border regions of Uzbekistan [Greater Eurasia: Development, Security, Cooperation]. (4-1). 2021. Pp. 702-704. (In Russ.).
3. Chirodea F., et al. European Union Tools for the Sustainable Development of Border Regions [Sustainability]. 16. 388. 2024. https://doi.org/10.3390/su16010388
4. Pilelienė, L., et al. Cross-Border Shopping on the European Union Fast-Moving Consumer Goods Market: Determinants of Lithuanian Shoppers' Behavior in Poland [Sustainability]. 16, 2024. P. 102. https://doi.org/10.3390/su16010102
5. Jafarzadeh H., Feng Y. Economic and Spatial Restructuring in the Aras Economic Zone: The Impact of Cross-Border Cooperation [Sustainability]. 15 (13): 10289. 2023. https://doi.org/10.3390/su151310289
6. Khanova I.E. Kazakhstan – Uzbekistan. History of cooperation and prospects of interaction [RSUH/RGGU Bulletin Series «Political Science. History. International Relations»]. (4/1). 2017. Pp. 79-89. (In Russ.).
7. The IMF mission has completed a working visit to Uzbekistan. [International Monetary Fund]. 2023. https://www.imf.org/ru/News/Articles/2023/12/21/pr23472-uzbekistan-imf-staff-concludes-staff-visit
8. The official website of the Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. 2023. https://stat.gov.kz/ru/
9. Report of the Eurasian Development Bank. Monitoring of mutual investments of the EDB – 2023. Retrieved from: https://eabr.org/upload/iblock/82b/EDB_2023_Report-5_Monitoring-of-Mutual-Investments_rus.pdf
10. Agency of Statistics under the President of the Republic of Uzbekistan. 2023. https://stat.uz/ru/ofitsialnaya-statistika/merchandise-trade

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_335 ӘОЖ 631.15

Қазақстан Республикасындағы азық-түлік жүйесінің даму перспективалары

***СЫРБЕК Перизат Нуркенқызы,** докторант, psyrbek@mail.ru,
БИМЕНДИЕВА Ләйла Әбдірашқызы, э.ғ.к., профессор м.а., leila.bimendiyeva@kaznu.edu.kz,
КОНДЫБАЕВА Салтанат Канапияевна, PhD, аға оқытушы, saltanat.kondybaeva@kaznu.edu.kz,
МУРАБИЛДАЕВА Риза Алимахуновна, докторант, riza27@mail.ru,
«Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» КеАҚ, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Азық-түлік қауіпсіздігі – қазіргі әлемдегі ең өзекті мәселелердің бірі. Әлемдегі халық саны тез өсуде, БҰҰ 2050 жылға қарай Жер халқының саны 9,7 миллиардқа жетеді деп болжайды, бұл азық-түлік ресурстарына сұранысты арттырады. Көптеген адамдарды азық-түлікпен қамтамасыз ету азық-түлік өндірісін едәуір арттыруды және оның таралуын жақсартуды талап етеді. Құрғақшылық, су тасқыны, ауа-райының күрт өзгеруі және жыл мезгілдерінің өзгеруі азық-түлікпен қамтамасыз етудің өнімділігі мен тұрақтылығына қауіп төндіреді. Экономикалық теңсіздік миллиондаған адамдардың сапалы тағамға қол жеткізе алмауына әкеледі. Мақалада азық-түлік қауіпсіздігінің теориялық негізі, Қазақстандағы азық-түлік жүйесінің жағдайы мен оның даму деңгейі, негізгі мәселелері мен шешу жолдары қарастырылды.*

Кілт сөздер: *ауылшаруашылығы, азық-түлік жүйесі, азық-түлік қауіпсіздігі, азық-түлік тәуелсіздігі, азық-түлік саясаты, кедейлік.*

Кіріспе. Азық-түлік қауіпсіздігін қалыптастырудың тиімді саясатының айқындаушы белгісі халықты өмір сүру мен өмір сүрудің сапалы жағдайларына кепілдік беретін, сондай-ақ, кеңейтілген өндіріс негізінде тұрақты қоғамдық жаңғыртуға мүмкіндік беретін деңгейде азық-түлікпен қамтамасыз ету болып табылады. Бұл процестің тұрақтылығы және азаматтардың өмір сүру сапасын жанжақты қанағаттандыру үшін мемлекеттің міндеті тиімді жүйені және олардың әрқайсысын сапалы және қауіпсіз тамақ өнімдеріне қалыптастыру болып табылады [1].

Азық-түлік қоғамдағы кедейлік пен теңсіздікке тікелей байланысты маңызды компонент және жаһандық проблема болып табылады. Біріккен Ұлттар Ұйымы бұл аспектіні тұрақты даму (ТДМ) 2030 жылға қарай «аштықты тоқтату, азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету және барлық адамдар үшін тамақтануды жақсарту» үшін қол жеткізілетін екінші аспект ретінде қарастырады [2].

Зерттеудің мақсаты Қазақстан Республикасының азық-түлік жүйесін зерделеу, елдің азық-түлік жүйесінің тұрақты дамуын қамтамасыз етуге бағытталған шараларды қалыптастыру болып табылады.

Зерттеу міндеттері:

- азық-түлік қауіпсіздігінің теориялық-әдіснамалық негіздерін зерделеу;
- Қазақстан Республикасында азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету саясатының қазіргі жай-күйін талдау;
- азық-түлік қауіпсіздігіне қол жеткізудің негізгі мәселелерін анықтау, бағдарламаларды қарастыру;

Зерттеу нысаны – Қазақстандағы азық-түлік қауіпсіздігінің қазіргі жағдайы мен даму тенденциялары.

Зерттеу пәні – Қазақстан Республикасының азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі саясаты.

Зерттеу әдістері. Мақалада зерттеу әдістері ретінде жүйелік, салыстырмалы, функционалдық, ретроспективті, экономикалық–статистикалық және құрылымдық талдаудың, синтездің әртүрлі түрлері мен әдістері, сондай-ақ, кестелік және графикалық әдістер пайдаланылды. Сонымен бірге, Қазақстан Республикасы жоспарлау және реформалар Агенттігінің ұлттық статистика Бюросының статистикалық материалдарына талдау жүргізілді.

Ғылыми нәтижелер. 2023 жылғы 1 қыркүйекте Президент Қасым-Жомарт Тоқаев Парламент палаталарының бірлескен

отырысында «Әділ Қазақстанның экономикалық бағыты» атты Қазақстан халқына Жолдауын жариялады. Маңызды міндеттердің бірі – азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселесін шешу. «Біздің алдымызда тағы бір міндет тұр – агроөнеркәсіптік кешенде нақты серпіліске қол жеткізу. Еліміздің стратегиялық мақсаты – Еуразия құрлығының жетекші аграрлық орталықтарының біріне айналу». Президент үш жыл ішінде ауылшаруашылығы кешенінде өнімді қайта өңдеу деңгейіне кемінде 70% жету мақсатын қойды [3].

Қазіргі уақытта Қазақстан Республикасында (ҚР) азық-түлік қауіпсіздігі туралы заң жоқ. Алайда, ұлттық азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету жөніндегі қызмет «Қазақстан Республикасындағы Ұлттық қауіпсіздік туралы», «Агроөнеркәсіптік кешенді және ауылдық аумақтарды дамытуды мемлекеттік реттеу туралы», «Астық туралы», «Техникалық реттеу туралы», «Тауарлар импорты кезінде ішкі нарықты қорғау жөніндегі шаралар туралы», «Мемлекеттік материалдық резерв туралы» заңдармен регламенттеледі [4].

Қазақстанның азық-түлік қауіпсіздігі деңгейін егжей-тегжейлі қарау үшін әлемдік аренада осы аспектіні зерттейміз. Қазақстан 19 желтоқсанда The Economist impact журналының талдау орталығы жариялаған 2022 жаһандық азық-түлік қауіпсіздігі индексінің баяндамасында 113 елдің ішінде 32-ші орында тұр. Ел 2021 жылы иеленген 41-ші позициядан көтерілді. Қазақстанның биылғы жалпы балы 72,1, 2021 жылы 69,2. Бұл рейтинг Қазақстанды Венгрия (71,8), Оңтүстік Корея (70,2), Ресей (69,1) және Түркия (65,3) сияқты елдерден жоғары қояды. Үздік үштікке Финляндия (83,7), Ирландия (81,7) және Норвегия (80,5) кірді. Қазақстанда дұрыс тамақтанбау деңгейі 2,5 пайыз деңгейінде қалады, ал дұрыс тамақтанбау салдарынан өсуі тежелген балалардың пайызы 6,7 пайыз деңгейінде қалады. Салмағы аз балалардың пайызы 2 пайызды, ал семіздіктің таралуы 21,3 пайызды құрайды. Елдің адами даму индексі 0,83 [5].

Азық-түлік қауіпсіздігінің маңызды компоненттерінің бірі-азық-түлік тәуелсіздігі. Азық-түлік тәуелсіздігі – бұл мемлекеттің ішкі өндіріс арқылы ішкі нарықты қамтамасыз ету үшін қажет азық-түліктің көп мөлшерін өндіруге қабілеттілігі. 1-кестенің деректерінен көрініп тұрғандай, Қазақстан Республикасы мынадай тауарлардың импортына тәуелділіктің жоғары деңгейіне ие: шай, кофе (80% импортталады), қант (72,4%), ірімшік және сүзбе (52%), өңделген көкөністер (картоптан басқа) (84,7%), балық (52%), шұжық (38%), ет консервілері (35%) [6].

Қазақстанның тәуелділігі негізінен өңделген тамақ өнімдерінде байқалады, бұл елдің тамақ өнеркәсібінің әлсіз позицияларын, қант, ет, балық, сүт, жемістер мен көкөністерді қайта өңдеу өнеркәсібі сияқты салаларда өңдеуші өнеркәсіптің жаңа қуаттарын ашу және қолданыстағы қуаттарын ұлғайту қажеттігін көрсетеді.

Статистиктер бағаны талдау үшін үш уақыт аралығын пайдаланады: қысқа мерзімді (бір айда), орта мерзімді (жыл басынан бері) және ұзақ мерзімді (соңғы 12 айда). Қысқа мерзімді перспективада наурыз айында барлық 19 әлеуметтік маңызы бар тауарлардың бағасы өсті. Бағаның минималды өсуі күнбағыс майы (3%), ет (2,6%), ұн (3,4%) және нан (3,4%) болды. Жарма бағасы орта есеппен 5-7%-ға, сүт пен тауық еті 6-7%-ға, картоп пен сәбіз 15%-ға өсті. Бағаның ең үлкен секірісі қант (35%), пияз (32%) және қырыққабат (50%) болды.

2024 жылы (қаңтар-тамыз) Қазақстандағы отандық өндіріс пен импорттың азық-түлік өнімдерінің үлесі

Атауы	Отандық өнім	Импорттық өнім
Тұз	92,4%	7,6%
Қант	27,6%	72,4%
Нан-тоқаш және кондитерлік өнімдер	82,9%	17,1%
Ұн	97,3%	2,7%
Ірімшік және сүзбе	52%	48%
Сүт өнімдері	84,7%	15,3%
Көкөністер	10,4%	89,6%
Жұмыртқа	96,6%	3,4%
Ет	96,3%	3,7%
Ескерту – [6] дереккөзі негізінде автормен құрастырылған		

Егер жылдық көрсеткіштерге қарасақ, онда өсудің орташа мәні 18,6% құрайды. 2021 жылдың наурыз айынан бастап Қазақстанда ұн, нан, макарон, май және айранның бағасы 10%-ға өсті. Қарақұмық, картоп, пияз және құс еті сияқты өнімдер 30-40% қымбаттады. Бағасы күрт өскен өнімдер – қант (52%) және қырыққабат (187%) [7].

Үй шаруашылықтарын талдау нәтижесінде 2024 жылдың I тоқсанында Қазақстан Республикасындағы халықтың 4,6%-ында күнкөріс деңгейінен төмен кірістер болғандығы анықталды.

Қазақстанда 2022 жылы дәнді және бұршақты дақылдардың жалпы жиналуы 2021 жылмен салыстырғанда 1 151,1 мың тоннаға өскен, бұл динамикаға мемлекеттік субсидиялар, жеңілдетілген несиелеу, өнімділікті арттыру және т.б. әсер еткенін атап өткен жөн. Ал 2023 жылы 2022 жылмен салыстырғанда көрсеткіштер төмендеген, оның себебі өткен жылдың жазында шегірткелер мен ақбөкендердің бірқатар аймақтарда егінге басып кіруі, астық егетін аумағында ұзаққа созылған жаңбыр.

Қазақстанда азық-түлік қауіпсіздігіне қол жеткізумен байланысты ықтимал тәуекелдер мен мәселелер мынадай тармақтарды қамтиды:

Бірінші мәселе экономиканы тиімсіз басқарумен байланысты. Жауапты тұлғалар қабылдайтын шешімдерді саралау мәселесі белгіленуде, бұл ретте ауылшаруашылығы министрлігі мен экология министрлігі арасындағы өкілеттіктердің тұрақты ауысулары, басшылардың жиі ауысуы – теріс әсер ететін факторлар. Мүмкін болатын шешім премьер-министрге немесе Президентке бағынатын мамандандырылған агенттік құру және болашаққа деген нақты тұжырымдамасы мен түсінігі бар АӨК-ті дамытудың тұрақты жоспарын әзірлеу болып табылады.

Екінші мәселе су ресурстарын басқару саласындағы көрші елдерге тәуелділікке байланысты. Өзендердің су ресурстарының жалпы көлемі орта жылы 100,5 текше километрді құрайды, бұл ретте республика аумағында 56,5 текше километр ғана қалыптасады, ал қалған 44 текше километр Қытайдан – 18,9 текше км, Өзбекстаннан – 14,6 текше км, Қырғызстаннан – 3 текше км және Ресейден – 7,5 текше км келеді.

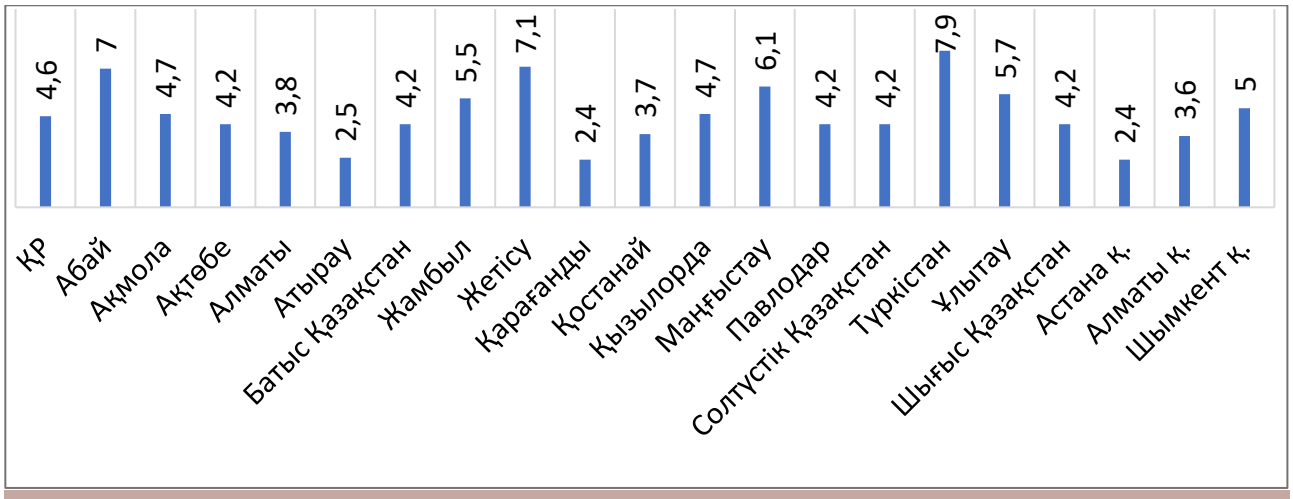
Үшінші мәселе – Қазақстанның қолда бар су ресурстары мен су жинау жүйесін тиімсіз басқаруы. Жаһандық жылыну нәтижесінде ылғал алмасу процестерінде өзгерістер орын алды.

Осылайша, тиісті сумен қамтамасыз ету елдің азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етудің ажырамас шарты болып табылады [8].

Ауылшаруашылығы мен фермерлік шаруашылықтарды қолдау үшін бірнеше негізгі бағдарламалар мен бастамалар бар: «Агробизнес-25» бағдарламасы, «Еңбек» мемлекеттік бағдарламасы, «Бизнестің жол картасы 2025», Ауылшаруашылығын қаржылай қолдау қоры, ауылшаруашылығын қолдауға субсидиялар, ауылдық аумақтарды дамыту бағдарламасы.

1. «Агробизнес-2025» Бағдарламасы. Бағдарламаның мақсаты – ауылшаруашылығының бәсекеге қабілеттілігін арттыру арқылы агроөнеркәсіптік кешенді (АӨК) дамыту.

2. Ауылшаруашылығын қолдауға арналған субсидиялар. Субсидиялар ауылшаруашылығы өнімдерін өндіруге, тыңайтқыштар, тұқымдар, жанар-жағармай материалдарын сатып алуға, сондай-ақ, ауылшаруашылы-



1-сурет – 2024 жылғы I тоқсандағы өңірлер бойынша ең төменгі күнкөріс деңгейінен төмен табысы бар халықтың үлесі

2-сурет – Қазақстан Республикасында 2018-2023 жылдардағы негізгі ауылшаруашылығы дақылдарының жалпы жинағы, мың тонна

ғы өндірушілерін сақтандыруға жұмсалатын шығындардың бір бөлігін жабу үшін беріледі.

3. Мемлекеттік «Еңбек» бағдарламасы. Бағдарлама жаппай кәсіпкерлікті дамытуға және ауылдық жерлерді қоса алғанда, жаңа жұмыс орындарын құруға бағытталған.

4. «Бизнестің жол картасы 2025». Бағдарлама пайыздық мөлшерлемелерді субсидиялау және несиелерге кепілдік беру арқылы кәсіпкерлікті, оның ішінде, ауылдық жерлерде дамытуды қолдайды.

5. Ауылшаруашылығын қаржылай қолдау қоры. Қор ауылшаруашылығы техникасын сатып алу үшін жеңілдетілген несиелер береді және ауыл кәсіпкерлері мен фермерлік шаруашылықтар үшін жылыжайлар мен басқа да өндірістік нысандарды құру жобаларын қаржыландырады.

6. Ауылдық аумақтарды дамыту бағдарламасы. Бағдарламаның мақсаты – ауылдық елді мекендердің инфрақұрылымын жақсарту, ауылдық аумақтардың тұрақты дамуы үшін жағдай жасау.

Қазақстанның азық-түлік жүйесін дамыту бірнеше негізгі салаларға бағытталуы мүмкін:

- Агроөнеркәсіптік кешен: ауылшаруашылығын жүргізудің заманауи технологиялары мен әдістерін енгізуді қоса алғанда, ауылшаруашылығы өндірісін жаңғыртуға инвестициялар.

- Тұрақты ауылшаруашылығы: экологиялық таза технологияларды қолдану, химиялық тыңайтқыштар мен пестицидтерді пайдалануды азайту және органикалық егіншілікті дамыту.

- Логистика және инфрақұрылым: жолдарды, қоймаларды және қайта өңдеу кәсіпорындарын қоса алғанда, азық-түлікті тиімдірек бөлу үшін көлік инфрақұрылымын жақсарту.

- Ғылыми зерттеулер мен инновациялар: агрономия, селекция және генетика саласындағы ғылыми зерттеулерді қолдау және дәл егіншілік сияқты инновациялық шешімдерді енгізу.

- Әлеуметтік бағдарламалар: қаржыландыру, оқыту және нарыққа қолжетімділікті қоса алғанда, фермерлер мен жергілікті өндірушілерді қолдау бағдарламаларын әзірлеу.

- Ішкі нарықты дамыту: ішкі нарықтағы жергілікті өнім үлесін ұлғайту, шағын және орта фермерлік шаруашылықтарды қолдау.

- Экспорттық әлеует: жаңа нарықтар мен сапа стандарттарын әзірлеуді қоса алғанда, қазақстандық ауылшаруашылығы тауарларының экспортын кеңейту.

- Азық-түлік қауіпсіздігі: халық үшін азық-түліктің қолжетімділігі мен алуан түрлілігін қамтамасыз ету, азық-түлік дағдарыстарымен күресу.

- Цифрландыру: агродата және сауда платформалары сияқты тиімділікті арттыру үшін ауылшаруашылығына цифрлық технологияларды енгізу [9].

Бұл бағыттар Қазақстанның азық-түлік қауіпсіздігін нығайтып қана қоймай, ауылшаруашылығын халықаралық аренада орнықты әрі бәсекеге қабілетті етуге көмектеседі.

Қорытынды. Қазақстанның азық-түлік жүйесін талдай отырып, келесідей қорытынды жасауға болады:

- Біріншіден, ауылшаруашылығын дамытуға мемлекеттік инвестициялар агросектордың өнімділігі мен тұрақтылығын арттыруда шешуші рөл атқарады.

- Екіншіден, инновациялар мен заманауи технологияларды енгізу мемлекеттік саясаттың маңызды аспектісі болып табылады. Қазақстан дәлме-дәл егіншілікті, биотехнологияны және тамшылатып суару жүйесін белсенді дамытуда. Бұл технологиялар өнімділікті арттыруға, шығындарды азайтуға және қоршаған ортаға жағымсыз әсерлерді азайтуға мүмкіндік береді.

- Үшіншіден, климаттың өзгеруі азық-түлік қауіпсіздігіне үлкен қиындықтар туғызады. Мемлекеттік саясат агросектордың климаттық тәуекелдерге осалдығын төмендетуге бағытталған.

- Төртіншіден, мемлекеттік саясат ауылдық аудандарды дамытуға, өмір сүру деңгейін арттыруға және барлық азаматтар үшін азық-түлікке қолжетімділікті жақсартуға ерекше назар аударады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Schmidhuber J., Tubiello F.N. Global Food Security under Climate Change // The National Academy of Sciences of the USA. – 2007. – № 104 (50). – Pp. 19703-19708.
2. Bozsik N., Stalbek B., Vasa L., Magda R. Food security management in developing countries: Influence of economic factors on their food availability and access // PLoS ONE. – № 17 (7). – 2022.
3. Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана «Экономический курс Справедливого Казахстана» от 1 сентября 2023 года. [Электронный ресурс]: https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-ekonomicheskiy-kurs-spravedlivogo-kazahstana-18588
4. Кайгородцев А.А. Продовольственная безопасность Казахстана: оценка состояния и пути обеспечения // Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество. – 2019. – С. 51-54.
5. Global Food Security Index 2022 // Economist Impact. – 2022. – P. 27.
6. Қазақстан Республикасының Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі Ұлттық статистика бюросы. [Электронды ресурс]: https://stat.gov.kz/
7. Ежанова Ж., Зайтенова Н. Продовольственная безопасность Республики Казахстан: оценка удовлетворенности населения продуктами питания местного производства // Журнал экономических исследований, Болгарская академия наук – Институт экономических исследований. – 2023. – № 5. – С. 16-31.
8. Продовольственная безопасность: всё ли хорошо у Казахстана в этом вопросе? [Электронный ресурс]: https://orda.kz/prodovolstvennaja-bezopasnost-vse-li-horosho-u-kazahstana-v-jetom-voprose-375548/
9. Бимендиева Л.А. Азық-түлік қауіпсіздігі елдің әлеуметтік-экономикалық дамуының факторы ретінде // ҚазҰУ хабаршысы. Экономика сериясы. – 2012. – № 3 (91). – 137-139 б.

Перспективы развития продовольственной системы в Республике Казахстан

***СЫРБЕК Перизат Нуркенқызы,** *докторант, psyrbek@mail.ru,*
***БИМЕНДИЕВА Лайла Абдрашовна,** *к.э.н., и.о. профессора, leila.bimendiyeva@kaznu.edu.kz,*
***КОНДЫБАЕВА Салтанат Канапияевна,** *PhD, старший преподаватель, saltanat.kondybaeva@kaznu.edu.kz,*
***МУРАБИЛДАЕВА Риза Алимахуновна,** *докторант, riza27@mail.ru,*
НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Продовольственная безопасность – одна из самых насущных проблем в современном мире. Население мира быстро растет, ООН прогнозирует, что к 2050 году население Земли достигнет 9,7 миллиарда человек, что увеличивает спрос на продовольственные ресурсы. Обеспечение продовольствием многих людей требует значительного увеличения производства продуктов питания и улучшения его распределения. Засуха, наводнения, экстремальные погодные условия и смена времен года угрожают продуктивности и устойчивости продовольствия. Экономическое неравенство приводит к тому, что миллионы людей не имеют доступа к качественной пище. В статье рассмотрены теоретические основы продовольственной безопасности, состояние продовольственной системы в Казахстане и уровень ее развития, основные проблемы и пути решения.*

Ключевые слова: *сельское хозяйство, продовольственная система, продовольственная безопасность, продовольственная независимость, продовольственная политика, бедность.*

Prospects for the Development of the Food System in the Republic of Kazakhstan

****SYRBEK Perizat,*** *Doctoral Student, psyrbek@mail.ru,*
BIMENDIYEVA Laila, *Cand. of Econ. Sc., Acting Professor, leila.bimendiyeva@kaznu.edu.kz,*
KONDYBAYEVA Saltanat, *PhD, Senior Lecturer, saltanat.kondybaeva@kaznu.edu.kz,*
MURABILDAYEVA Riza, *Doctoral Student, riza27@mail.ru,*
NPJSC «Al-Farabi Kazakh National University», 71 Al-Farabi Avenue, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *Food security is one of the most pressing problems in the modern world. The world's population is growing rapidly, the UNO predicts that by 2050 the world's population will reach 9.7 billion people, which increases the demand for food resources. Providing food for many people requires a significant increase in food production and improved distribution. Droughts, floods, extreme weather conditions and changing seasons threaten food productivity and sustainability. Economic inequality leads to the fact that millions of people do not have access to quality food. The article examines the theoretical foundations of food security, the state of the food system in Kazakhstan and the level of its development, the main problems and solutions.*

Keywords: *agriculture, food system, food security, food independence, food policy, poverty.*

REFERENCES

1. Schmidhuber J., Tubiello F.N. Global Food Security under Climate Change // The National Academy of Sciences of the USA. – 2007. – № 104 (50). – Pp. 19703-19708.
2. Bozsik N., Stalbek B., Vasa L, Magda R. Food security management in developing countries: Influence of economic factors on their food availability and access // PLoS ONE. – № 17 (7). – 2022.
3. Poslanie Glavy gosudarstva Kasym-Zhomarta Tokaeva narodu Kazahstana «Ekonomicheskij kurs Spravedlivogo Kazahstana» ot 1 sentyabrya 2023 goda [Message of the Head of State Kassym-Jomart Tokayev to the people of Kazakhstan «Economic Course of a Fair Kazakhstan» dated September 1, 2023] [Elektronnyj resurs]: https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-ekonomicheskiy-kurs-spravedlivogo-kazahstana-18588
4. Kajgorodcev A.A. Prodovol'stvennaya bezopasnost' Kazahstana: ocenka sostoyaniya i puti obespecheniya [Food security of Kazakhstan: assessment of the state and ways to ensure] // Bol'shaya Evraziya: razvitie, bezopasnost', sotrudnichestvo. – 2019. – Pp. 51-54.
5. Global Food Security Index 2022 // Economist Impact. – 2022. – P. 27.
6. Kazahstan Respublikasynyn Strategiyalyk zhosparlau zhane reformalar agenttigi Ulttyk statistika byurosy [Bureau of national statistics of the agency of the Republic of Kazakhstan for Strategic Planning and reforms] [Elektrondy resurs]: https://stat.gov.kz/
7. Ezhanova ZH., Zaitenova N. Prodovol'stvennaya bezopasnost' Respubliki Kazahstan: ocenka udovletvorennosti naseleniya produktami pitaniya mestnogo proizvodstva [Food security of the Republic of Kazakhstan: assessment of the satisfaction of the population with locally produced food products] // Zhurnal ekonomicheskih issledovanij, Bolgarskaya akademiya nauk – Institut ekonomicheskih issledovanij. – 2023. – № 5. – Pp. 16-31.
8. Prodovol'stvennaya bezopasnost': vsyo li horosho u Kazahstana v etom voprose? [Food security: is everything good in Kazakhstan on this issue?] [Elektronnyj resurs]: https://orda.kz/prodovolstvennaja-bezopasnost-vse-li-horosho-u-kazahstana-v-jetom-voprose-375548/
9. Bimendiyeva, L.A. Azyk-tulik kauipsizdigi eldin aleumettik-ekonomikalyk damuynyn faktory retinde [Food security as a factor in the socio-economic development] // KazŬU habarshysy. Ekonomika serijasy. – 2012. – № 3 (91). – Pp. 137-139.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_341 ӘОЖ 331.101.6

Қазақстанның ауылшаруашылығындағы еңбек өнімділігі: құрылымдық мәселелер және тұрақты даму мүмкіндіктері

***БАЙДАҚОВ Асылбек Каневич,** э.ғ.к., профессор, a_baidakov@mail.ru,
БОДАУХАН Қайрат, э.ғ.к., қауымдастырылған профессор, k.bodaukhan@mail.ru,
«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Жеңіс даңғылы, 62, Астана, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

***Аңдатпа.** Бұл зерттеуде ағымдағы экономикалық және әлеуметтік сын-қатерлер жағдайында ерекше өзекті болып отырған Қазақстанның ауылшаруашылығындағы еңбек өнімділігін арттыру мәселесі қарастырылады. Жұмыспен қамтылған халықтың 12%-ы осы салада жұмыс істейтініне және жалпы халықтың шамамен 40%-ы ауылдық жерлерде тұратынына қарамастан, ауылшаруашылығының экономикаға қосқан үлесі салыстырмалы түрде өте төмен – 2023 жылы жалпы ішкі өнімде саланың үлесі 3,9% ғана. Бұл жағдай аграрлық секторды дамыту үшін жұмыс күшінің жоғары қолжетімділігі шарттарында еңбек өнімділігінің төмендігін көрсетеді және осы саладағы еңбек өнімділігіне әсер ететін себептерді анықтау мен оны арттыру үшін тиімді шараларды әзірлеу қажеттілігін негіздейді. Зерттеудің мақсаты ауылшаруашылығындағы төмен еңбек өнімділігінің себептерін анықтау және оны жоғарылату мен саланың тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін ұсыныстар әзірлеу болып табылады. Зерттеу мақсатына жету үшін экономикалық-статистикалық талдау, салыстырмалы талдау, кейс-талдау және жүйелік талдау әдістері қолданылды.

***Кілт сөздер:** еңбек өнімділігі, ауылшаруашылығы, жалақы, экономикалық даму, тұрақты даму, инвестициялар, мемлекеттік қолдау, тиімділік.

Кіріспе. Қазақстан Республикасының Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі Ұлттық статистика бюросының (ҚР СЖРА ҰСБ) ресми деректері бойынша 2024 жылдың басына ел тұрғындарының 37%-ы (7520 мың адам) ауылдық жерлерде тұрады және жұмыспен қамтылған тұрғындардың 12%-ға жуығы (1061 мың адам) осы салада еңбек етеді. Еңбек ресурстарының мұндай құрылымы ауылшаруашылығының бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін тиімді пайдаланылуы қажет елеулі адами әлеуеттің болуын растайды. Дегенмен, 2023 жылы ауылшаруашылығы саласының ЖІӨ-де үлесі тарихи минимумды – бар болғаны 3,9%-ды құрап, 2022 жылмен салыстырғанда өндіріс көлемі мен еңбек өнімділігі төмендеді [1]. Жұмыспен қамтылған еңбек ресурстарының 12%-ы еңбек ететін саланың экономикаға қосқан үлесінің 3,9% ғана болуы, еңбек өнімділігінің орташа деңгейден 3 еседей төмен болуын көрсетеді. Нәтижесінде ауылшаруашылығы қызметкерлерінің табысы төмен, қалалық және ауылдық аймақтар арасындағы әлеуметтік алшақтық айқын. Бұл өмір сүру стандарттарының нашарлауына, жастардың қалаларға қоныс аударуына және ауылдық жерлерде экономикалық және әлеуметтік мәселелердің одан әрі шиеленісуінің алғышарттарын қалыптастырады. Осылайша, ауылшаруашылығындағы еңбек өнімділігінің төмендігі осы сектор маңызды рөл атқаратын ауылшаруашылық аймақтардағы экономикалық тоқырау мен әлеуметтік алшақтықтың негізгі себептерінің бірі болып отыр. Сарапшылар да Қазақстан Үкіметі ауылшаруашылығын одан әрі дамыту үшін кадрлардың жеткіліктілігі емес, саладағы еңбек өнімділігінің өте төмен болуы мәселесін шешуі керек деп санайды. Өнімділікті арттыру мемлекет тарапынан да, өндірушілер мен фермерлер тарапынан да кешенді тәсілді талап ететін аграрлық саясаттың негізгі бағыттарының біріне айналуы тиісті [2].

Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың барлық жолдауларында агроөнеркәсіптік кешенді дамытудың маңыздылығы мен оның тетіктері қарастырылған, 2023 жылғы жолдауда: «Біз агроөнеркәсіп кешенінде нақты серпіліс жасауымыз керек. Ауылша-

руашылығы саласының әлеуеті орасан зор. Бірақ біз қолда бар мүмкіндіктерді әлі де толық пайдаланбай отырмыз» деп атап өтілген [3]. Стратегиялық мақсаттарды жүзеге асыру мен жолдауларда көзделген тапсырмаларды орындау мақсатында агроөнеркәсіптік кешенді дамытуға бағытталған, осыған дейін жүзеге асырылған барлық мемлекеттік бағдарламалар мен жобаларда басты мақсатты индикатор ретінде еңбек өнімділігін жоғарылату көзделгенімен, олар тиісті нәтиже берген жоқ. Дүниежүзілік банк пен Халықаралық валюта қоры Қазақстан экономикасы бойынша жасаған ауқымды баяндамасында Қазақстандағы бизнесті қолдау бағдарламаларында сандық көрсеткіштерге сүйенудің немесе өнімсіз кәсіпорындарды құтқарудың орнына өнімділікті арттыру үшін барынша әлеуеті бар компанияларға назар аударуды ұсынады [4].

Зерттеудің мақсаты ауылшаруашылығындағы төмен еңбек өнімділігінің себептерін анықтау және оны жоғарылату мен саланың тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін ұсыныстар әзірлеу болып табылады. Зерттеу нәтижелерінің маңыздылығы аграрлық сектордағы еңбек өнімділігінің артуы экономикалық өсуге ықпал етіп қана қоймай, сонымен қатар, ауыл халқының өмір сүру деңгейін жоғарылатып, елдің әлеуметтік тұрақтылығы мен әл-ауқатына тікелей әсер етуімен байланысты.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу материалдары ретінде ҚР СЖРА ҰСБ, ҚР Ауылшаруашылығы министрлігінің еңбек ресурстары, еңбек өнімділігі, жалақы деңгейі мен өндіріс көлемі туралы ресми статистикалық деректері, есептері мен ақпараттық материалдары, агроөнеркәсіптік кешенді дамыту жоспарларында келтірілген деректер, Дүниежүзілік банк пен Халықаралық валюта қорының баяндамалары, сараптамалық ұйымдар мен сарапшылардың талдамалық материалдары, осы бағыттағы ғылыми зерттеулердің нәтижелері пайдаланылды.

Зерттеу барысында:

- жұмыспен қамту, ЖІӨ және басқа да негізгі экономикалық көрсеткіштер туралы деректерді пайдалана отырып, аграрлық сектордағы еңбек өнімділігінің ағымдағы жай-күйін бағалау үшін экономикалық-статистикалық талдау;

- ауылшаруашылығындағы еңбек өнімділігі, жалақы деңгейін экономиканың басқа секторларының көрсеткіштерімен салыстыру үшін салыстырмалы талдау;

- агроөнеркәсіптік кешенді дамытудың мемлекеттік бағдарламаларының нәтижесіне, олардың оң және теріс нәтижелеріне, оның себептеріне жүйелі талдау үшін кейстерді-талдау;

- экономикалық, әлеуметтік және технологиялық аспектілерді қоса алғанда, ауылшаруашылығындағы еңбек өнімділігіне әртүрлі факторлардың әсерін бағалау үшін жүйелік талдау әдістері қолданылады.

Зерттеу нәтижелері. Ауылшаруашылығы саласының әлеуметтік-экономикалық маңыздылығы мен даму әлеуеті орасан зор болуына қарамастан ЖІӨ-дегі саланың үлесі тұрақты түрде кеміп, 2023 жылы 3,9% тарихи минимумға жетті: 1992-2023 жж. аралығында оның орташа мәні 7,6% болса, оның максималды деңгейі 1992 жылы 23,3% болған [1]. Сонымен бірге, 2018-2023 жылдар аралығындағы статистикалық деректерді талдау абсолютті шамада жоғарылауына қарамастан саладағы еңбек өнімділігі мен жалақының салыстырмалы түрде төмен болуы, жұмыспен қамтылғандардың санының азаюы аграрлық секторда орын алған мәселелерді көрсетеді (1-кесте).

Салада орташа еңбек өнімділігінің 2018 жылмен салыстырғанда 110,8%-ға артқанына қарамастан, бұл көрсеткіш жалпы экономиканың өнімділігімен салыстырғанда әлі де төмен болып отыр: 2023 жылы ауылшаруашылығындағы еңбек өнімділігі небәрі 4378 мың теңге немесе орташадан 38%. Бұл аграрлық секторда жұмыс істейтіндердің саны мен оның ел экономикасына қосқан үлесі арасындағы айтарлықтай теңгерімсіздікті көрсетеді. Оны келесідей негізгі факторлармен түсіндіруге болады:

1) өсімдік және мал шаруашылығындағы төмен өнімділік, табиғи-климаттық факторлардан шамадан тыс тәуелділік. Мысалы, 2023 ж. орын алған ауа-райының қолайсыздығы ауылшаруашылық өндірісінің физикалық көлемінің бірден 8,3%-ға төмендеуіне ықпал етті, сол себепті де саланың ЖІӨ-дегі үлесі бірден кеміген;

2) тауар өндірушілердің қалыптасқан құрылымдық ерекшеліктеріне орай өндірістің еңбек өнімділігін арттыруға материалдық, қаржылық мүмкіндігі жоқ ұсақ тауарлы шаруашылықтарда шоғырлануы, 2023 ж. жалпы өнім құрылымында ауылшаруашылық кәсіпорындарының үлесі 28% ғана;

3) ескірген, өнімділігі төмен, еңбек және күту шығындары жоғары технологияларды пайдалану және сала субъектілерінің инновациялық белсенділігінің төмендігі;

4) объективті және субъективті себептерге байланысты аграрлық нарық субъектілерінің қаржыландыруға қолжетімділігінің жеткіліксіздігі;

5) негізгі капиталға бағытталған инвестициялардың жеткіліксіздігі, оны ынталандырудың төмендігі;

6) саладағы еңбек ресурстарының қартаюы мәселесі және басқа да.

Осындай негізгі себептердің нәтижесін-

1-кесте – Еңбек өнімділігі мен жалақы деңгейінің динамикасы

Көрсеткіштер	2018 жыл	2019 жыл	2020 жыл	2021 жыл	2022 жыл	2023 жыл
1. ЖІӨ-де ауылшаруашылығы үлесі, %	4,4	4,5	5,4	5,1	5,2	3,9
2. Ауылшаруашылында жұмыспен қамтылғандар саны, мың адам	1228,2	1184,7	1175,1	1176,4	1108,9	1078,7
- 2018 жылға пайызбен	100,0	96,5	95,7	95,8	90,3	87,8
- ҚР бойынша еңбекпен қамтылғандардың үлесі, %	14,1	13,5	13,5	13,4	12,4	11,9
3. ҚР бойынша орташа еңбек өнімділігі, мың теңге	6173	6870	7112	8423	10083	11408
- 2018 жылға пайызбен	100,0	111,3	115,2	136,4	163,3	184,8
4. Ауылшаруашылығындағы орташа еңбек өнімділігі, мың теңге	2077	2466	3005	3351	4608	4378
- 2018 жылға пайызбен	100,0	118,7	144,7	161,3	221,9	210,8
- экономика бойынша орташаға қатынас коэффициенті	0,34	0,36	0,42	0,40	0,46	0,38
5. Жалдамалы жұмыскерлердің орташа жылдық номиналды жалақысы, теңге:	162673	186815	213003	250311	309697	364295
- ауылшаруашылығындағы орташа жалақы	97929	115371	130178	150705	190086	222532
- экономика бойынша орташаға қатынас коэффициенті	0,60	0,62	0,61	0,60	0,61	0,61
Ескерту: ҚР СЖРА ҰСБ [1] деректері негізінде автормен есептелген.						

де қалыптасқан еңбек өнімділігінің төмендігі жалақы деңгейінің де басқа салалар мен республика бойынша орташа деңгейден едәуір төмен болуының анықтаушы факторы болып отыр. Айталық, 2018-2023 жж. саладағы жалдамалы жұмыскерлердің орташа жалақысы экономика секторлары арасында ең төмені, экономика бойынша орташа жалақының тұрақты түрде 60%-н құрайды, ал жалақысы ең жоғары тау-кен өндірісінде жалақы 3,5 есе жоғары (771048 тг.), бұл салаға білікті кадрларды тартуға, олардың нәтижелі еңбек етуін шектейді. Жалақының төмен болуы жұмыспен қамтылғандардың қалыптасқан сапалық құрамы мен құрылымына тікелей әсер етіп отыр (2-кесте).

2-кестедегі деректер бойынша саладағы еңбек өнімділігінің төмен болуына ықпал ететін бірнеше құрылымдық ерекшеліктерді атап өтуге болады:

Біріншіден, саладағы жұмыспен қамтылғандар құрылымында жалдамалы жұмыскерлердің үлес салмағы төмен (44%), тиісінше өзін-өзі жұмыспен қамтушылар санатының үлесі (56%) экономикадағы орташадан (24%) 2,2 есе жоғары, осы санаттағылардың санының көп болуы саладағы жасырын жұмыссыздық мәселесін айғақтайды;

Екіншіден, жұмыспен қамтылғандар санатында 55 жастан және еңбекке жарамды жастан асқандардың үлесінің республика бойынша орташадан еселеп жоғары болуы: еліміз бойынша еңбекке жарамды жастан асқан 249907 адам жұмыспен қамтылғандар санатында болса (жалпыдан 2,7%), оның ішінде, 111349 адам немесе 44,5%-ы ауылшаруашылығында еңбек етеді, олардың үлес салмағы орташадан 3,8 есе жоғары; 55 жастан асқан жұмыскерлердің үлесі де 22,7% құрап, республикалық орташа деңгейден 1,8 есе жоғары. Сонымен бірге, республика бойынша жұмыспен қамтылғандар құрылымында жоғары және жоғары білімнен кейінгі білімі барлар үлес салмағы 43,8% болса, ауылшаруашылығында олардың үлесі 19,7%. Бұл ауылшаруашылығындағы еңбек ресурстарының жалпы саны жеткілікті болғанымен, кадрлар құрамының қартаюын және аграрлық секторда жұмыс істеуге дайын жас мамандардың жетіспеушілігін көрсетеді. Мемлекет тарапынан аграрлық секторды дамытуға және білікті кадрларды даярлауға ықпал ету үшін ауылшаруашылығы мамандықтары бойынша оқыту үшін айтарлықтай білім беру гранттарын бөлуіне, бірнеше арнайы бағдарламалардың жүзеге асырылуына қарамастан, жас мамандар оқуын аяқтағаннан кейін ауылға оралмайды. Бұл құбылыс тартымды еңбек жағдайларының болмауына, төмен жалақыға және аграрлық саладағы жұмысты қызықты әрі перспективалы ете алатын заманауи технологиялардың болмауына байланысты – ауылшаруашылығына кәсіп пен өмір салты ретінде қызығушылықтың төмендеуіне байланысты жастардың көбінесе ата-аналарының фермерлік ісін жалғастырмауында.

Салада тұрақты дамуға қол жеткізу және ауылшаруашылығында еңбек өнімділігін жоғарылатуға бағытталған агроөнеркәсіптік кешенді дамытудың мемлекеттік бағдарла-

2-кесте – Жұмыспен қамтылғандардың құрамы мен құрылымының көрсеткіштері, 2023 жыл

Көрсеткіштер	Жұмыспен қамтылғандар саны, адам	Оның ішінде (саны және жұмыспен қамтылғандарға қатынасы)							
		Жалдамалы жұмыскерлер		Жоғары білімі барлар		55 жастан асқандар		Еңбекке жарамды жастан асқандар	
		адам	%	адам	%	адам	%	адам	%
1. ҚР бойынша	9081920	6893429	75,9	3982708	43,8	1168749	12,9	249907	2,7
2. Ауылшаруашылығы	1078720	478366	44,3	212945	19,7	244846	22,7	111349	10,3
3. Ауылшаруашылығының үлесі, %	11,9	6,9	x	5,3	x	20,9	x	44,6	x
Ескерту: ҚР СЖРА ҰСБ [1] деректері негізінде автормен есептелген.									

маларының өз мақсаттарына жетпей, аяқсыз қалуы – осы тұстағы ең маңызды мәселенің бірі. Атап айтқанда: «Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік кешенін дамытудың 2017-2021 жылдарға арналған мемлекеттік бағдарламасына» сәйкес агроөнеркәсіптік кешенде еңбек өнімділігін 2015 жылғы 1,2 млн теңгеден 2021 ж. 3,7 млн теңгеге дейін өсіру көзделген. Дегенмен, бағдарламаның негізгі мақсаттарына қол жеткізілген жоқ, осы 5 жылдық бағдарлама аяқталмай тұрып «Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік кешенін дамыту жөніндегі 2021-2025 жылдарға арналған ұлттық жобасы» (күшін жойған) бекітілді. Нақты себептері мен нәтижелері талданбай 01.01.2024 ж. бастап күшін жойған осы жобаға сәйкес агроөнеркәсіптік кешенде 2025 жылға дейін еңбек өнімділігін 6,2 млн теңгеге дейін өсіру (2,5 есе) және басқа да стратегиялық мақсаттар көзделген болатын. Нәтижесінде ұлттық жобаларға бағытталған бюджет ресурстарын тиімсіз пайдалану орын алған, оның негізгі себептерінің қатарына жобалардың жеткіліксіз пысықталуы, олардың мерзімінен бұрын аяқталуы және нәтижелерге мониторингтің, жауапкершіліктің болмауы жатады.

Осылайша, қазіргі уақытта елімізде агроөнеркәсіптік кешенді дамытудың жеке жобасы жоқ. Саланың дамуы 2024 жылы қабылданған «Қазақстан Республикасының 2029 жылға дейінгі ұлттық даму жоспарына» және «Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік кешенін дамытудың 2021-2030 жылдарға арналған тұжырымдамасына» сәйкес реттелуде. Ұлттық даму жоспарының «Агроөнеркәсіптік кешен» бағытында 2029 жылға дейінгі Қазақстанда АӨК дамыту үш іргелі міндеттің қатарында нәтижелі жұмыспен қамтуды және жұмыскерлердің лайықты әл-ауқатын қамтамасыз ету [5]; ал Тұжырымдама 20 нысаналы индикатор қамтылса, оның ең алғашқысы – ауылшаруашылығында еңбек өнімділігін 2020 жылмен салыстырғанда 3 есеге арттыру көзделген [6]. 2024 ж. сәуір айынан бастап жаңа «2024-2028 жылдарға арналған агроөнеркәсіптік кешенін дамыту жөніндегі «Қуатты АӨК» ұлттық жобасы» талқылануда, мақсатты индикаторлар қатарында еңбек өнімділігін екі есеге 9,1 млн теңгеге дейін жоғарылату көзделген. Бірақ бұл құжаттарда да осыған дейінгі жүзеге асырылған мемлекеттік бағдарламалар мен шаралардың нәтижелеріне сыни талдау жүргізілмеген, орын алған кемшіліктер есепке алынбаған.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері ауылшаруашылығындағы төмен еңбек өнімділігі мәселесі тұрақты сипатқа ие және оны жоғарылату кешенді тәсілді қажет ететінін көрсетеді. Атап айтқанда:

1. Басқа да кешенді мақсаттармен қатар ауылшаруашылығында еңбек өнімділігін жоғарылатуға бағытталған агроөнеркәсіптік кешенді дамытудың мемлекеттік бағдарламаларының өз мақсаттарына жетпей, аяқсыз қалуы – осы тұстағы ең маңызды мәселенің бірі болып отыр. Осындай бағдарламалардың тиімділігін арттыру үшін, бірінші кезекте, бұрынғы жобалар мен бағдарламалардың нәтижелеріне сыни талдау жүргізу қажет. Мұндай талдау негізгі мәселелерді анықтауға, ресурстарды тиімді пайдалануды қамтамасыз етуге және жаңа стратегиялық жоспарларда кемшіліктерді ескеруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, мақсатты индикаторларды белгілеуде және олардың орындалуын мониторингтеуде нақты критерийлер мен бақылау механизмдерін, нақты жауапкершілік орталықтарын енгізу қажет.

2. Ауылшаруашылығы өндірушілерінің басым бөлігі мемлекеттік көмекке тәуелді, қандай жағдайда да мемлекеттік көмек алуға бейімделген ортада кәсіпкерлік белсенділіктің төмендігі мәселесі бар. Мемлекеттік қолдауды ұзақ мерзімді өсу мен өнімділікті арттыруды қамтамасыз ете алатын компанияларға бағыттауға мүмкіндік беретін ашық критерийлер мен бағалау механизмдерін енгізу қажет. Бұл ресурстар жеке секторды қолдауға және нарықтық қатынастарды жақсартуға, сондай-ақ, кәсіпкерлік белсенділікті ынталандыруға мүмкіндік беретін қолайлы

бизнес ортасын құруды қамтамасыз етеді.

3. Ауылшаруашылығындағы еңбек ресурстарының жалпы саны жеткілікті болғанымен, кадрлар құрамының қартаюы және аграрлық секторда жұмыс істеуге дайын жас мамандардың жетіспеушілігі мәселесін шешуде еңбек жағдайларын жақсарту мен жұмыскерлерінің біліктілігін арттыруға инвестициялау экономиканың әртүрлі секторлары арасындағы еңбек өнімділігі мен жалақы алшақтықтарын жоюдың негізгі факторы болып табылады. Бұл шаралар аграрлық сектордың тартымдылығын арттырып, жастардың ауылға оралуын және ауылшаруашылығында жұмыс істеуіне ынталандыруы мүмкін, сондай-ақ, кадрлар құрамының қартаюына жол бермей, саладағы еңбек өнімділігінін жоғарылатуға ықпал етеді.

Қаржыландыру көзі: *Мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары оқу орнынан кейінгі білім министрлігінің 2024-2026 жылдарға арналған «Солтүстік өңірлердің ауылдық аумақтарын кеңістікте дамыту контекстінде агроөнеркәсіптік кешеннің әлеуетін іске асыруды зерделеу, ауыл халқының әл-ауқатын жақсарту жөнінде ұсыныстар әзірлеу» гранттық қаржыландыру бағдарламасы (AP 23490441) шеңберінде дайындалған.*

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қазақстан Республикасының Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі Ұлттық статистика бюросының ресми статистикалық деректері. https://stat.gov.kz.
2. Калдаров С, Темирханов М. Обзор развития сельского хозяйства в Казахстане. Аналитический центр Halyk Finance. 2023. Обзор. [Электронный ресурс]. URL: https://halykfinance.kz.pdf (дата обращения: 20.09.2024).
3. «Әділетті Қазақстанның экономикалық бағдары» Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың 2023 жылғы 1 қыркүйектегі Қазақстан халқына Жолдауы. [Электрондық ресурс]. – URL: https://baiterek.gov.kz (кіру күні: 15.09.2024).
4. Всемирный банк. Формирование завтрашнего дня: реформы для долгосрочного процветания. Доклад об экономике Казахстана. 2024. [Электронный ресурс]. – URL: https://documents.worldbank.org (дата обращения: 10.10.2024).
5. «Қазақстан Республикасының 2029 жылға дейінгі ұлттық даму жоспарын бекіту туралы» ҚР Президентінің 2024 жылғы 30 шілдедегі № 611 Жарлығы. [Электрондық ресурс]. – URL: https://adilet.zan.kz (кіру күні: 15.10.2024).
6. «Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік кешенін дамытудың 2021-2030 жылдарға арналған тұжырымдамасын бекіту туралы» Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2021 жылғы 30 желтоқсандағы № 960 қаулысы. [Электрондық ресурс]. – URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs (кіру күні: 10.10.2024).

Производительность труда в сельском хозяйстве Казахстана: структурные проблемы и возможности для устойчивого развития

***БАЙДАКОВ Асылбек Каневич,** к.э.н., профессор, a_baidakov@mail.ru,*
***БОДАУХАН Кайрат,** к.э.н., ассоциированный профессор, k.bodaukhan@mail.ru,*
НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», пр. Женис, 62, Астана, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассматривается проблема повышения производительности труда в сельском хозяйстве Казахстана, которая становится особенно актуальной в условиях текущих экономических и социальных вызовов. Несмотря на то, что около 12% занятого населения работает в этой отрасли и около 40% всего населения проживают в сельских районах, вклад отрасли в экономику остаётся относительно очень низким – 3,9% в валовом внутреннем продукте в 2023 году. Это обстоятельство указывает на низкую производительность труда при высокой доступности рабочей силы для развития аграрного сектора и подчеркивает необходимость выявления причин, влияющих на производительность труда в данной отрасли, и разработки эффективных мер по её повышению. Целью исследова-*

ния являются выявление причин низкой производительности труда в сельском хозяйстве и разработка рекомендаций для ее повышения и обеспечения устойчивого развития отрасли. Для достижения цели исследования применены методы экономико-статистического анализа, сравнительного анализа, кейс-анализа и системного анализа.

Ключевые слова: *производительность труда, сельское хозяйство, заработная плата, экономическое развитие, устойчивое развитие, инвестиции, государственная поддержка, эффективность.*

Labor Productivity in Agriculture in Kazakhstan: Structural Challenges and Opportunities for Sustainable Development

***BAIDAKOV Assilbek,** Cand. of Econ. Sc., Professor, a_baidakov@mail.ru,*
***BODAUKHAN Kairat,** Cand. of Econ. Sc., Associate Professor, k.bodaukhan@mail.ru,*
NCJSC «S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University», 62 Zhenis Avenue, Astana, Kazakhstan,
**corresponding author.*

***Abstract.** This study examines the problem of increasing labor productivity in agriculture in Kazakhstan, which is becoming especially relevant in the context of current economic and social challenges. Despite the fact that about 12% of the employed population works in this industry and about 40% of the total population lives in rural areas, the industry's contribution to the economy remains relatively very low – 3.9% of gross domestic product in 2023. This circumstance indicates low labor productivity with high availability of labor for the development of the agricultural sector and emphasizes the need to identify the causes affecting labor productivity in this industry and develop effective measures to improve it. The purpose of the study is to identify the causes of low labor productivity in agriculture and develop recommendations for improving it and ensuring the sustainable development of the industry. To achieve the purpose of the study, methods of economic and statistical analysis, comparative analysis, case analysis and system analysis were applied.*

***Keywords:** labor productivity, agriculture, wages, economic development, sustainable development, investments, government support, efficiency.*

REFERENCES

1. Qazaqstan Respublikasynyñ Strategialyq josparlau jäne reformalar agenttıgı Ūlttyq statistika bürosynyñ resmi statistikalyq derekterı. https://stat.gov.kz [in Kazakh].
2. Kaldarov S, Temirkhanov M. Obzor razvitiya sel'skogo khozyaistva v Kazakhstane. Analiticheskii tsentr Halyk Finance. 2023. Obzor. [Ehlektronnyi resurs]. – URL: https://halykfinance.kz (date of access: 20.09.2024) [in Russian].
3. «Ädılettı Qazaqstannyñ ekonomikalyq bağdary» Memleket basşysy Qasym-Jomart Toqaevtyñ 2023 jylğy 1 qyrküiektegı Qazaqstan halqyna Joldauy. [Elektrondyq resurs]. – URL: https://baiterek.gov.kz (date of access: 15.09.2024) [in Kazakh].
4. Vsemirnyi bank. Formirovanie zavtrashnego dnya: reformy dlya dolgosrochnogo protsvetaniya. Doklad ob ehkonomike Kazakhstana. 2024. [Ehlektronnyi resurs]. – URL: https://documents1.worldbank.org (date of access: 10.10.2024) [in Russian].
5. «Qazaqstan Respublikasynyñ 2029 jylğa deiıngı ūlttyq damu josparyn bekıtu turaly» QR Prezidentınıñ 2024 jylğy 30 şıldedegı № 611 Jarlyğy. [Elektrondyq resurs]. – URL: https://adilet.zan.kz (date of access: 15.10.2024) [in Kazakh].
6. «Qazaqstan Respublikasynyñ agroönerkäsıptık keşenın damytudyñ 2021-2030 jyldarğa arnalğan tūjyrymdamasyn bekıtu turaly» Qazaqstan Respublikasy Ükımetınıñ 2021 jylğy 30 jeltoqsandağy № 960 qaulysy. [Elektrondyq resurs]. – URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs (date of access: 10.1.2024) [in Kazakh].

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_347 UDC 338.242

Financing Small and Medium Business in the State

[1]*DARIBEKOVA Aigul, Cand. of Econ. Sc., Docent, aigul_daribekova@mail.ru,
[2]DARIBEKOV Serik, Cand. of Econ. Sc., Professor, Seka28@mail.ru,
[1]DARIBEKOVA Nazgul, Master's Degree, Senior Lecture, nazguldariko@mail.ru,
[3]SAYFULLAEVA Madina, Teacher, gulcha.82@mail.ru,
[1]MINISHEVA Aiymgul, Senior Lecture, kabkesh@mail.ru,
[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]NPLC «Karaganda National Research University named after Academician E.A. Buketov», 28 University Street, Karaganda, Kazakhstan,
[3]Bukhara State University, Muhammad Iqbol Street, 11, Bukhara, Uzbekistan,
*corresponding author.

Abstract. The article discusses issues of financial support for small and medium-sized businesses in the state: preferential lending, subsidies, leasing. The main objective of financial and credit support for small and medium-sized businesses is to increase investment volumes. The development of alternative sources of investment (microcredit organizations and credit partnerships), maximum attraction of private investment resources, and the introduction of progressive forms of investment policy will make it possible to financially support small and medium-sized businesses in the country. The importance of using public-private partnerships to ensure the sustainable development of SMEs is considered as a mechanism to increase labor productivity and stimulate growth in agriculture, infrastructure projects, education and medicine. Special attention is paid to new forms of financing, such as public-private partnerships, crowdfunding, and crowdinvesting.

Keywords: small and medium-sized businesses, financing, lending, subsidies, public-private partnership, crowdfunding, crowdinvesting.

Introduction. When implementing the policy of financial support for business, the state uses various forms, among which a special place is occupied by preferential lending, subsidies, leasing, and the provision of loan and leasing guarantees. The main objective of financial and credit support for small and medium-sized businesses is to increase investment volumes both by increasing lending from traditional sources (second-tier banks) and by developing alternative sources of investment (microcredit organizations and credit partnerships), maximizing the attraction of private investment resources, introducing progressive forms of investment policy [1].

At the same time, the allocation of financial resources in the form of loans issued on a preferential basis is carried out by subsidizing part of the remuneration on credit loans and leasing. In practice, the provision of preferential loans is carried out by the state through specialized financial development institutions or by funding second-tier banks or other financial organizations. The state compensates part of the interest rate on loans issued to second-tier banks, microfinance organizations and leasing companies in exchange for the entrepreneur's fulfillment in the future of certain conditions related to operating activities.

Research methods. The methods are based on consolidated achievements of neoclassical, institutional and neo-institutional theory, as well as scientific works of domestic and foreign scientists in the field of development and financing of small and medium-sized businesses. We used abstract logical, analytical, and economic methods.

The theoretical principles obtained in the course of the study complement and rely on domestic science in strengthening financial support for business. The proposals developed within the framework of this work can be applied to the development at the state level of forms and tools for financial incentives for business development that will be the most optimal, effective and will achieve key indicators.

Scientific results. A study of lending as a tool for supporting small-business enterprises (SMEs) suggests that, generally, at the initial stage of creating an enterprise, it is extremely difficult to use the credit resources of banks. The lack of collateral and the presence of high credit risks do not allow entrepreneurs to use this resource to develop their activities and apply either for government support or to other non-banking organizations. In addition, the structure of business entities is mainly represented by small-scale production, the need for financial resources is determined by small volumes. Based on this, the most suitable instrument for lending to business entities is microcredit [2]. It is aimed at the needs of small and medium-sized businesses that do not have sufficient access to the services of banks and other credit institutions that are not interested in working with small borrowers, i.e. microcredit is intended to finance entrepreneurs who want to start their own business, but due to an unfavorable economic situation or financial insolvency, cannot afford traditional bank loans[3].

The issue of government support for small and medium-sized businesses, such as subsidies, is quite controversial. Some authors believe that it should be abolished and justify it with the following arguments:

1) subsidies as a financing instrument do not have such qualitative characteristics as flexibility and timeliness;

2) subsidies do not stimulate business entities to expand their business, introduce innovations, increase productivity and labor and other indicators;

3) subsidies reduce the competitiveness of business entities;

4) the occurrence of violations and abuses on the part of government bodies when allocating subsidies [4].

An alternative point of view regarding the need for subsidies is shared by such authors as Zelinskaya M.V., Medvedeva O.V. [5], Vasyunina M.L. [6], who believe that the implementation of state support through subsidies helps ensure the financial independence of business entities. We also support the authors and believe that subsidies are a necessary tool to support business development, especially in the agricultural industry. This is due to the specifics of the industry itself, which is characterized by long payback periods for production costs, high natural and climatic risks, high cost of equipment and production base, etc. Therefore, the state must cover part of the entrepreneur's expenses, stimulating an increase in production volumes, but receiving production results in return.

Leasing as a form of financing for agribusiness entities is a fairly effective way to renew fixed assets with little diversion of financial resources from the entity's turnover. The most common is financial leasing, the essence of which is the acquisition by a leasing company on behalf of the lessee of property and its subsequent transfer to the latter for use in production activities. The main advantages of leasing are its availability, flexibility in the payment schedule, tax benefits and the ability to use updated equipment after the first payment. At the same time, the influence of external factors and the high cost of agricultural machinery reduce the ability of businesses to use this tool without government support.

One of the areas for stimulating the work of second-tier banks with the real sector of the economy is the guarantee system for loans and leasing. The disinterest of banks in the client base of business entities significantly limits its access to credit resources, especially at the stage of start-up activities. This is due to high risks and small loan sizes. Therefore, many countries have made the construction of a loan guarantee system a central part of the strategy for small enterprises' access to financing [7].

The provision of government guarantees for loans and leasing not only helps to solve problems of access to financing, but also stimulates the attraction of private investment in business development. The advantages of providing guarantees include:

- firstly, the state does not allocate funds directly to business entities, which reduces its financial costs;
- secondly, reducing the bank's credit risks by sharing them with the state;
- thirdly, encouraging entrepreneurs to develop their activities and timely repay loans;
- fourthly, expanding the activity of the banking sector in financing the activities of small and medium-sized businesses.

At the same time, the development of the credit market and business requirements for even more accessible and flexible instruments necessitate the use of new forms of financing, such as public-private partnerships, crowdfunding, and crowdinvesting.

Financing using alternative forms is quite limited for SMEs due, first of all, to the poor development of these forms and mechanisms for their implementation, and secondly, to the lack of legislation regulating the provision of financing services.

The most common form among the presented list is a public-private partnership, which is based on mutually beneficial cooperation between the state and the entrepreneur to solve common significant problems. Thus, a public-private partnership (PPP) is a form of

cooperation between a public partner and a private partner, which must meet certain criteria. According to the method of implementation, PPP is divided into institutional and contractual. Institutional public-private partnership is implemented by the company in accordance with the agreement.

Of course, the mechanisms for implementing PPP are mutually beneficial cooperation for both the state and agribusiness entities. This is due to the fact that new opportunities for obtaining a stable income, long-term prospects for business development, and a reduction in business risks are opening up for private investors. As for the state, this is an opportunity to optimize public spending aimed at the construction of socially significant facilities, reducing the budget deficit, creating favorable conditions for business development, and the efficiency of managing state and municipal property. In addition, this mechanism contributes to the faster implementation of new technologies, stimulates the development of the stock and banking markets, the development of small and medium-sized businesses, and the attraction of private domestic and foreign investments.

The importance of using PPP to ensure sustainable development of SMEs, including, for example, agriculture, is noted by the Food and Agriculture Organization of the United Nations, considering it as a mechanism for increasing labor productivity and stimulating growth in the agro-industrial complex, increasing food production around the world (Food and Agriculture Organization, FAO). Being widespread in infrastructure projects, education and medicine, PPP in agriculture is a relatively new practice that could help modernize the agro-industrial complex and bring benefits not only to agricultural producers themselves and the state, but also to society as a whole [8].

FAO identifies 4 types of common PPP projects in the field of agribusiness development:

- partnership for the development of agricultural value chains, where it is envisaged to develop specific value chains to provide access to domestic and foreign markets,

- partnership for joint agricultural research, innovation and technology transfer, which is created, inter alia, for the commercialization of innovative technologies aimed at increasing productivity and market access, transfer of experience;

- partnership for the construction and modernization of market infrastructure, aimed at the development of shopping centers, warehouses for storing goods, logistics systems for agricultural products, agricultural parks;

- partnership for the transfer of business development services to farmers and small enterprises, including the development of market information systems, management training for agricultural dealers, subsidizing business development services for small and medium-sized agricultural organizations, etc. [9].

The theoretical and practical foundations of financing using crowdfunding and crowdinvesting methods remain insufficiently studied. The main disadvantage of the methodological basis for studying these tools is their low adaptability to the modern financing model of many countries, the lack of a mechanism for implementation and use at the legislative level to attract funds to an investment project, which prevents the implementation of tools and the penetration of additional investment capital into the business market. At the same time, an increasing number of countries are thinking about integrating this instrument into the financing system.

Crowdfunding or crowdlending is a mechanism for collective financing of projects, in which money for the creation of a new product comes from end consumers [10]. The advantage of this form of financing is the absence of intermediaries (banks, microfinance organizations, etc.) and the possibility of its implementation together with investors.

Crowdinvesting is an investment in a project made by a large number of people – micro-investors. Microinvestors can receive shares of a company or a share of a startup's assets [10]. An alternative method of collective venture microfinancing, which involves equity investment and return of invested funds with favorable interest rates through an intermediate agent (Internet site, platform).

The main factors stimulating the growth of crowdinvesting volumes:

- difficulties in obtaining investment funds from banking institutions;

- insufficient attention to the development of alternative banking and government instruments for financing SMEs by citizens;

- insufficient development (absence) of the regional infrastructure of financial organizations.

Therefore, attracting capital to agriculture using crowdfunding and crowdinvesting could solve the problem of missing financing and directly connect the farmer with consumers of agricultural products interested in its production.

Studying the experience of using these tools allows us to conclude that it is necessary to introduce them into the SME financing system. This is due, on the one hand, to the possibilities of using the savings of private investors to finance the industry. On the other hand, there is an insufficient amount of financial resources provided by banks and the

state necessary to meet the production needs of SMEs. Widespread use of these tools would increase the ability of businesses to attract resources and increase the flow of investment in agricultural development.

Each country chooses its own forms and instruments of financial incentives for business development, which will be the most optimal, effective and will allow achieving key indicators of growth in the agricultural industry and the quantitative and qualitative composition of agribusiness entities. However, the financing system must be structured in such a way as to meet the growing needs of entrepreneurs for financial resources to increase production indicators and achieve strategic growth indicators of the state economy. At the same time, the allocation of funds by the state, as the main investor and creditor, should have a justified approach and ensure a multiplier effect of the positive impact of financial investments on the economy as a whole, and the financial regulation mechanism should contribute to the development of production activities and increase the competitiveness of the entrepreneur.

The process of financing small and medium-sized businesses using various sources, methods and forms in the new global reality requires the use of a complementary approach, which assumes that the problem-oriented effect stems from the joint use of complementary resources available to companies, which leads to greater returns from all available resources.

The application of this approach becomes quite relevant at the present stage of development of the world economy, when the market environment is characterized by very high rates of change and the negative impact of internal and external factors on the development and functioning of a business entity. Therefore, small and medium-sized businesses, as the most vulnerable class of producers, will not be able to function and develop without an additional source of financing in the form of government support.

Conclusion. Thus, having examined the structure and content of the elements of the financing system for small and medium-sized businesses in agriculture, it can be noted that from the point of view of its organization and functioning, it is a managed system, including subjects (who manages) and objects (what is managed).

The purpose of management is as follows:

1) ensuring the growth of industry performance indicators;

2) increasing labor productivity in the industry;

3) increasing the export of agricultural products;

4) reducing imports and providing the market with socially significant food products of domestic production;

5) increasing the competitiveness and financial stability of agribusiness entities.

The end result of managing the SME financing system, for example, in agriculture in both the Republic of Kazakhstan and the Republic of Uzbekistan, is the development of a specific financial policy in the agro-industrial complex, the phased implementation of which will contribute to the achievement of all strategic indicators of the development of the industry and entrepreneurship, as the main driving force of the economy of both countries.

Thus, the following conclusions can be drawn:

1) the system of financing small and medium-sized businesses in agriculture consists of interconnected and interacting structural elements: subject, object, sources, methods and forms of financing;

2) the practice of financing small and medium-sized businesses in agriculture is based on state and non-state support using financial instruments: lending, preferential lending, microcredit, subsidies, loan guarantees, leasing, each of which has its own advantages and global positive experience of use;

3) in the context of the new global reality, the system of financing SMEs in agriculture, along with traditional forms of financing, requires the development of alternative tools for attracting capital, such as public-private partnerships, crowdinvesting, crowdfunding, crowdlending, the use of which will attract significant resources from private investors to finance business and reduce annual government expenses;

4) the system of financing small and medium-sized businesses in agriculture is a managed system, including an object, subject, controls and management results.

REFERENCES

1. Daribekov S.S. Trends in the development of lending to small and medium-sized businesses in the Republic of Kazakhstan // Sciences of Europe. – 2016. – No. 5. – Pp. 38-41.
2. Zhagyparova A.O. Microcredit in the agricultural sector of the Republic of Kazakhstan // Problems of the agricultural market. – 2018. – No. 2. – Pp. 117-124.
3. Klyukin I.N. Possibilities of using the international experience of microcredit of small and medium-sized industrial enterprises // Modernization. Innovation. Development. – 2016. – Vol. 7, No. 3. – Pp. 160-166.
4. Bykova N.V. Evaluation of the effectiveness of state support for small business: dis. ... candidate of Economics. Sciences: 08.00.05. – St. Petersburg, 2018. – 319 p.
5. Zelinskaya M.V., Medvedeva O.V. Subsidization as an instrument of state support for small and medium-sized enterprises // https://cyberleninka.ru/article/n/subsidirovanie-kak-instrument.10.08.2021.
6. Vasyunina M.L. Priorities of budget subsidization of agriculture in the Russian Federation // Finance and credit. – 2014. – №8(584). – Pp. 28-35.
7. Kozlova S.Yu. Development of the loan guarantee system as a means of activating bank lending to small and medium-sized businesses // Financial Research. – 2011. – № 2 (31). – Pp. 49-55.
8. Misnik O.V. Public-private partnership as one of the forms of financing small and medium-sized businesses in agriculture in Kazakhstan // Public-private partnership as a mechanism for attracting investments: models and experience: mater. International Scientific and Practical Conference – Nur Sultan, 2020. – Pp. 130-136.
9. Public– private partnerships for agribusiness development: A review of international experiences / by ed. M. Rankin et al. – Rome, 2016. – 183 p.
10. Patlasov O.Yu. Crowdfunding: types, mechanism of functioning, prospects of public financing in Russia // Science of man. – 2015. – № 2 (20). – Pp. 209-219.

Мемлекеттегі шағын және орта бизнесті қаржыландыру

[1]*ДАРИБЕКОВА Айгуль Сагатбековна, *э.ғ.к., доцент, aigul_daribekova@mail.ru,*
[2]ДӘРІБЕКОВ Серік Сағатбекович, *э.ғ.к., профессор, Seka28@mail.ru,*
[1]ДАРИБЕКОВА Назгуль Сагатбековна, *магистр, аға оқытушы, nazguldariko@mail.ru,*
[3]САЙФУЛЛАЕВА Мадина Исматовна, *оқытушы, gulcha.82@mail.ru,*
[1]МИНИШЕВА Аиымгул Рахимовна, *аға оқытушы, kabkesh@mail.ru,*
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]«Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті» КеАҚ, Университет көшесі, 28, Қарағанды, Қазақстан,
[3]Бұхара мемлекеттік университеті, Мұхаммед Иқбол көшесі, 11, Бұхара, Өзбекстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Мемлекеттегі шағын және орта бизнесті қаржылық қолдау мәселелері қарастырылады: жеңілдетілген несиелеу, субсидиялау, лизинг. Шағын және орта бизнесті қаржылық-кредиттік қолдаудың негізгі міндеті инвестициялар көлемін ұлғайту болып табылады. Инвестициялардың баламалы көздерін (микрокредиттік ұйымдар мен кредиттік серіктестіктер) дамыту, жеке инвестициялық ресурстарды барынша тарту, инвестициялық саясаттың прогрессивті нысандарын енгізу елдегі шағын және орта бизнесті қаржылай қолдауға мүмкіндік береді. ШОК (шағын және орта кәсіпкерлік) орнықты дамуын қамтамасыз ету үшін мемлекеттік – жекешелік әріптестікті пайдаланудың маңыздылығы еңбек өнімділігін арттыру және АӨК (агро-өнеркәсіптік кешен), инфрақұрылымдық жобаларда, білім беру мен медицинада өсуді ынталандыру тетігі ретінде қарастырылады. Мемлекеттік-жекеменшік әріптестік, краудфандинг, краудинвестинг сияқты қаржыландырудың жаңа түрлеріне ерекше назар аударылады.*

Кілт сөздер: *шағын және орта бизнес, қаржыландыру, несиелеу, субсидиялау, мемлекеттік-жекеменшік әріптестік, краудфандинг, краудинвестинг.*

Финансирование малого и среднего бизнеса в государстве

*[1]*ДАРИБЕКОВА Айгуль Сагатбековна, к.э.н., доцент, aigul_daribekova@mail.ru,*
[2]ДАРИБЕКОВ Серик Сағатбекович, к.э.н., профессор, Seka28@mail.ru,
[1]ДАРИБЕКОВА Назгуль Сагатбековна, магистр, старший преподаватель, nazguldariko@mail.ru,
[3]САЙФУЛЛАЕВА Мадина Исматовна, преподаватель, gulcha.82@mail.ru,
[1]МИНИШЕВА Аиымгул Рахимовна, старший преподаватель, kabkesh@mail.ru,
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]НАО «Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова», ул. Университетская, 28, Караганда, Казахстан,
[3]Бухарский государственный университет, ул. Мухаммада Икбола, 11, Бухара, Узбекистан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассматриваются вопросы финансовой поддержки малого и среднего бизнеса в государстве: льготное кредитование, субсидирование, лизинг. Основной задачей финансово-кредитной поддержки малого и среднего бизнеса является увеличение объемов инвестиций. Развитие альтернативных источников инвестиций (микрокредитных организаций и кредитных товариществ), максимальное привлечение частных инвестиционных ресурсов, внедрение прогрессивных форм инвестиционной политики позволит финансово поддержать малый и средний бизнес в стране. Важность использования государственно-частного партнерства для обеспечения устойчивого развития МСП рассматривается как механизм для повышения производительности труда и стимулирования роста в АПК, инфраструктурных проектах, образовании и медицине. Отдельное внимание уделено новым формам финансирования, таким как государственно-частное партнерство, краудфандинг, краудинвестинг.*

Ключевые слова: *малый и средний бизнес, финансирование, кредитование, субсидирование, государственно-частное партнерство, краудфандинг, краудинвестинг.*

REFERENCES

1. Daribekov S.S. Trends in the development of lending to small and medium-sized businesses in the Republic of Kazakhstan // Sciences of Europe. – 2016. – No. 5. – Pp. 38-41.
2. Zhagyparova A.O. Microcredit in the agricultural sector of the Republic of Kazakhstan // Problems of the agricultural market. – 2018. – No. 2. – Pp. 117-124.
3. Klyukin I.N. Possibilities of using the international experience of microcredit of small and medium-sized industrial enterprises // Modernization. Innovation. Development. – 2016. – Vol. 7, No. 3. – Pp. 160-166.
4. Bykova N.V. Evaluation of the effectiveness of state support for small business: dis. ... candidate of Economics. Sciences: 08.00.05. – St. Petersburg, 2018. – 319 p.
5. Zelinskaya M.V., Medvedeva O.V. Subsidization as an instrument of state support for small and medium-sized enterprises // https://cyberleninka.ru/article/n/subsidirovanie-kak-instrument.10.08.2021.
6. Vasyunina M.L. Priorities of budget subsidization of agriculture in the Russian Federation // Finance and credit. – 2014. – №8(584). – Pp. 28-35.
7. Kozlova S.Yu. Development of the loan guarantee system as a means of activating bank lending to small and medium-sized businesses // Financial Research. – 2011. – № 2 (31). – Pp. 49-55.
8. Misnik O.V. Public-private partnership as one of the forms of financing small and medium-sized businesses in agriculture in Kazakhstan // Public-private partnership as a mechanism for attracting investments: models and experience: mater. International Scientific and Practical Conference – Nur Sultan, 2020. – Pp. 130-136.
9. Public– private partnerships for agribusiness development: A review of international experiences / by ed. M. Rankin et al. – Rome, 2016. – 183 p.
10. Patlasov O.Yu. Crowdfunding: types, mechanism of functioning, prospects of public financing in Russia // Science of man. – 2015. – № 2 (20). – Pp. 209-219.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_353 UDC 338.2

Analysis of the Current State of Industrial Production in the Republic of Kazakhstan

[1]**MAMRAYEVA Dinara,** *Cand. of Econ. Sc., Head of Department, dina2307@mail.ru,*
[1]**TASHENOVA Larisa,** *Cand. of Econ. Sc., Director of Institute, larisatash_88@mail.ru,*
[1]***MUKANOV Askar,** *Doctoral Student, askar.kazakhstan@gmail.com,*
[2]**KALININA Olga,** *Dr. of Econ. Sc., Director of Higher School, olgakalinina@bk.ru,*
[1]NPLC «Karaganda National Research University named after Academician E.A. Buketov», 28 University Street, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya Street, Saint Petersburg, Russia,
**corresponding author.*

Abstract. *The analysis of the state of industrial production in the Republic of Kazakhstan is carried out. The statistical method was used as the main research method. The object of the study was industrial enterprises of the Republic of Kazakhstan. The profitability of industrial enterprises is determined by the choice of those industries whose products are in demand in the market, but in Kazakhstan they are mainly focused on the raw materials sector. The degree of informatization of the Kazakh industry is inferior to foreign countries. There is a high degree of depreciation of fixed assets in industry. Significant financial resources are required for their modernization. Modernization of ICT technologies and innovations is necessary for the development of the non-resource sector in the Republic of Kazakhstan. One of the areas of financing the renovation of fixed assets is public-private partnership and investments.*

Keywords: *industry, production, analysis, sector, informatization, depreciation, investment, public-private partnership, innovation, products.*

Introduction

Industrial development is a key factor in the growth of the country's economy.

Currently, the economy of the Republic of Kazakhstan is facing the task of diversifying industry, that is, abandoning the raw material orientation. The development of the non-resource sector will ensure independence from fluctuations in commodity prices, which means it will lead to greater economic stability. The country's steadily developing industry provides an influx of investments. Attracting investments contributes to the creation of new production facilities. The purpose of this article is to analyze the current state of industrial production in order to further develop mechanisms for promoting modern enterprises and formulate recommendations.

Research methods

At the first stage, a review of scientific articles was conducted in the Scopus and Web of Science databases, a scientific electronic library elibrary.ru, general scientific methods of systematization and generalization were used on the scientific issues studied in the article.

At the second stage, when analyzing the state of industrial production in the Republic of Kazakhstan, a statistical method was applied, i.e. the processing of official data from the Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan

Scientific results:

Industry is an important sector of the economy, providing a significant part of the surplus value. Industry is a springboard for the introduction of innovations and new technologies and has long defined the strategic priorities and advantages of the development of a particular country [1].

The development of industry in a country is determined by the industrial policy pursued by the state. The modern industrial policy of the state is aimed at effective innovative development, since in the conditions of the modern market, the competitiveness of goods and competitive advantage can be achieved only through the use of innovations and achievements of science and technology [2].

According to W. Zhu, Y. Zhu, H. Lin, Y.Y. Lin, there is a relationship between the trends of technological progress, industrial restructuring

and the dynamics of regional industrial economic growth [3].

Technological progress plays an important role in stimulating industrial restructuring, and different technologies have different effects on industrial restructuring and modernization [4].

The industrial potential of Kazakhstani enterprises allows, with state support, to expand the range of products and produce more technically sophisticated products [5]. Continuous modernization is the key to the competitiveness of the country's industry [6].

The current Fourth Industrial Revolution may provide an opportunity to improve the financial condition of Kazakhstan due to the peculiarities of the country [7].

The development of the industrial structure is a prerequisite for achieving high-quality economic growth [8].

The complex global scenario has increased the need for innovative production methods that minimize the environmental impact of production and products [9].The high importance of industrial development determines the relevance of the analysis of its state in the Republic of Kazakhstan. Table 1 contains the key industrial performance indicators in the Republic of Kazakhstan.

From 2019 to 2023, the number of enterprises and industries increased by 1,415, or 10.6%, which is a positive characteristic of industrial development. The volume of industrial production from 2019 to 2023 increased by 17,611,445 million tenge, or by 59,9%. The industrial production index reached 104.4% in 2023. Further measures are needed to accelerate the development of industry and the transition from extensive to intensive production methods. However, there is a tendency in Kazakhstan to invest in fast-paying commodity projects. Public-private partnership and investment mechanisms can be used to create high-tech infrastructure.

Table 2 shows that the industry of the Republic of Kazakhstan demonstrates a significant degree of depreciation of fixed assets. In the

Table 1 – Key Industrial Performance Indicators in the Republic of Kazakhstan [10]

	2019	2020	2021	2022	2023	Deviation of the 2023 indicators from those of 2019
Share of the industrial GVA in the Republic's GDP, %	27.5	27.1	29.6	29.5	26,7	-0,8
Number of enterprises and industries, items	13,237	13,362	14,065	14,902	14,652	1,415
Volume of industrial production, million KZT	29,380,342	27,028,506	37,606,243	48,777,089	46,991,787	17,611,445
Industrial production indices, percent of the previous year	104.1	99.5	103.6	101.2	104.4	0,3
Profit, loss, before taxation, million KZT	7,684,090	4,477,052	11,305,151	13,557,805	10,288,775	2,604,685
Profitability, percent	30.0	15.8	33.4	28	25,3	-4,7

Table 2 – Degree of Fixed Assets Depreciation by Industrial Sectors in the Republic of Kazakhstan, percent [10]

	2019	2020	2021	2022	2023
Mining and quarrying	64.2	66.6	65.1	63.8	59,1
Processing industry	36.4	39.0	40.6	41.2	41,1
Supply of electricity, gas, steam, hot water and conditioned air	75.5	73.1	71.8	72.3	70,5
Water supply; waste collection, treatment and disposal, pollutant removal	24.8	24.7	26.1	27.1	28,9

manufacturing industry, there was a gradual decrease in the degree of depreciation of fixed assets from 36.4% in 2019 to 41.1% in 2023, i.e. the renovation is very slow. It is necessary to develop economic mechanisms for financing the renewal of fixed assets in industry. One of the directions of updating the fixed assets of the industry is investing.

Table 3 shows that there is an increase in investments in all areas of fixed capital use. However, the growth of investments does not lead to a significant reduction in the percentage of depreciation of fixed assets in industry; further measures are needed to improve the investment climate in Kazakhstan. Global practice has shown that public-private partnerships are an important source of investment for the renewal of fixed assets. Thanks to government guarantees, the project implementation period can exceed 10 years, which allows a private partner to make significant investments, since thanks to the mechanism of public-private partnership, he is confident of their return. The renewal of fixed assets imposes a significant burden on the state budget. It is impossible to modernize all obsolete fixed assets at the expense of the state budget in one year. The way out in this case is a gradual renewal of fixed assets at the expense of a private partner under government guarantees. In this case, the budget does not need to immediately allocate significant funds from the budget, and at the same time, there are significant budget savings that can be directed to other programs, such as social ones.

It is necessary to apply advanced foreign experience in industrial development, for example, the experience of Singapore, China, Malaysia, etc. These countries have invested heavily in infrastructure, the development of knowledge-based entrepreneurship, new technologies and innovations. They have created technology parks and free economic zones, characterized by significant tax preferences and conditions for the development of high-tech production. This has attracted foreign investors who have not only the necessary financial resources, but also the necessary modern technologies, experience, qualified personnel and corporate connections.

Joint ventures are a common practice of setting up enterprises with fixed assets at the level of leading foreign enterprises. The head office is located abroad. He is building a factory using his modern technologies in Kazakhstan. However, this company is under the jurisdiction of Kazakhstan, this is due to tax peculiarities and problems with real estate. This company is immediately capable of producing world-class quality products and providing local markets with the necessary goods. An example of such production is the company Boehmer Armature LLP for the production of ball valves. The company's head office is located in Germany. A positive aspect of setting up such enterprises is to attract local labor resources, teach them advanced technological experience and create an appropriate school of knowledge and technological skills at the local level. Modern joint ventures are equipped with advanced technologies and equipment, and use modern information technology. This experience is useful for spreading throughout the country. The parent company uses its well-established corporate relationships, relationships with suppliers and contractors and applies them to newly established enterprises in Kazakhstan. The parent company also has established markets where its brand is also widely known. Proven and successful technologies, for example, in Germany, can be freely replicated in other countries. This makes it possible to achieve the universalization and standardization of services, production and equipment, i.e. this method is the least expensive. Not only technological, but also organizational measures, management systems and production organization are used. A well-developed system of training, advanced training and adaptation of personnel to new industries and

Table 3 – Investments in Fixed Capital by Directions of Use, million KZT [10]

Republic of Kazakhstan	2019	2020	2021	2022	2023
Industry	7,786,272	6,203,260	6,500,085	7,380,078	7,939,230
Mining and quarrying	5,550,068	3,953,710	3,708,909	4,458,972	4,478,397
Processing industry	1,017,089	1,077,819	1,541,742	1,586,872	1,633,025
Supply of electricity, gas, steam, hot water and conditioned air	915,455	749,645	766,854	828,749	1,265,074
Water supply; waste collection, treatment and disposal, pollutant removal	303,660	422,086	482,580	505,485	562,734

technologies is used. It should be noted that such productions already embody technologies corresponding to Industry 4.0, and have the basis for further development and transition to Industry 5.0 technologies. These technologies can be adapted based on German experience or created jointly in Kazakhstan. The environmental situation, investment climate and export-oriented products are being improved on the basis of foreign equipment that meets the highest environmental standards.

Table 4 shows that the best indicators of the use of ICT are observed in the manufacturing industry. A significant number of enterprises are observed in regions where the processing industry is developed, in particular, mechanical engineering. The production of innovative products that ensure the competitiveness of goods (services) in the market is of great importance in industry. Based on these parameters, clustering was performed using the IBM SPSS Statistics program. The dendrogram of the Ward method is shown in Figure.

Figure shows that the IBM SPSS Statistics program identified 7 clusters based on the selected data (Table 5).

Table 5 shows that the IBM SPSS Statistics program has allocated the Atyrau region to a separate seventh cluster. Atyrau region is home to the largest Tengiz and Kashagan oil fields, oil refineries and enterprises related to the production of petroleum products, such as the chemical industry, the production of plastics and fertilizers for agriculture.

The majority of the regions of the first cluster were characterized by an agricultural orientation. Modern agriculture for the efficient production of agricultural products requires the use of efficient equipment, energy-efficient technologies and modernization of transport. With the support of financial institutions and instruments, high profitability of agricultural production projects should be ensured, for example, the placement of production in a free economic zone, the provision of financial preferences.

A foreign company may invest in agricultural assets, participate in management and administration, trade, provision of services, maintenance of equipment, planning and related services.

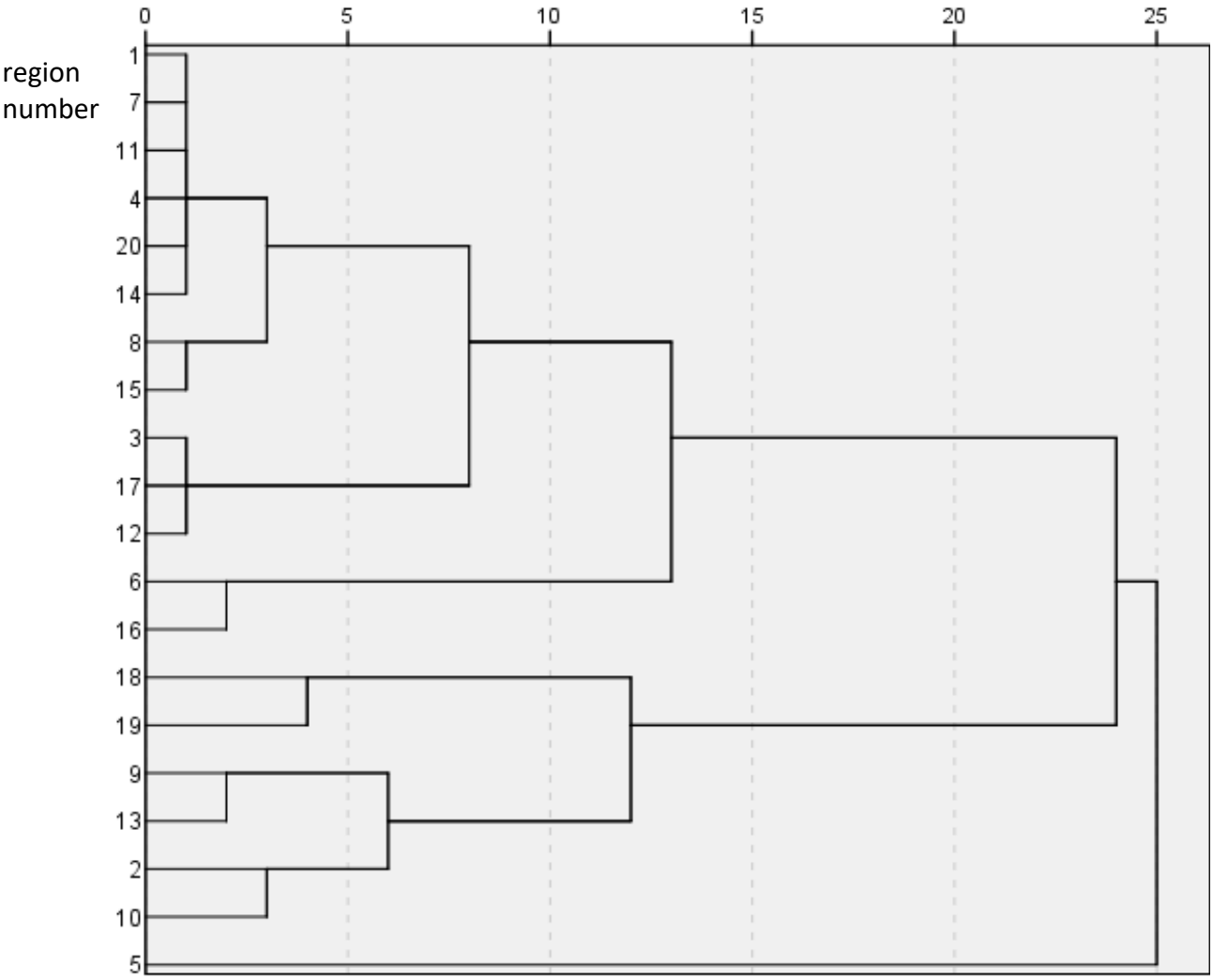
The second cluster has similar climatic conditions, remoteness from the administrative centers of the state and is characterized by a high level of industrial development.

The third cluster is characterized by the presence of large industrial enterprises, for example, the largest copper producer Kazakhmys Corporation LLP, and the oil industry. The issues of updating fixed assets, environmental protection and increasing production efficiency remain problematic for this cluster.

The fourth cluster includes the largest cities of Kazakhstan. They are characterized by the development of industry, science and high-tech industries. These regions are the mainstay of

Table 4 – Key ICT Utilization Indicators by Type of Economic Activity in 2023 [10]

	Number of enterprises, items	Number of organizations, items			
		Using computers	Access to the Internet	Using Cloud Computing	Conducting big data analysis
Total	152,658	124,305	121,439	16,726	2,940
Agriculture, forestry and fishery	8,114	5,285	5,135	273	32
Mining and quarry development	1,613	1,311	1,270	204	42
Processing industry	10,256	8,906	8,679	1,187	224
Supply of electricity, gas, steam, hot water and conditioned air	834	749	741	111	25
Water collection, treatment and distribution	347	304	302	41	9
Wastewater collection and treatment	50	44	44	7	4
Collection, treatment and disposal of waste; utilization (recovery) of materials	720	581	565	60	8
Pollution removal activities and other waste management services	42	31	31	2	2



Dendrogram of Industry Development by Region using the IBM SPSS Statistics program

Note – compiled by the authors

Table 5 – Distribution of Regions by their Level of Industrial Development by IBM SPSS Statistics Program

Cluster number	Region and its number
1	Abai (1), Zhambyl (7), Kyzylorda (11), Almaty region (4), Shymkent (20), North Kazakhstan (14), Zhetysu (8), Turkestan (15),
2	Aktobe (3), East Kazakhstan (17), Mangystau (12),
3	West Kazakhstan (6), Ulytau (16),
4	Astana (18), Almaty (19)
5	Karaganda (9), Pavlodar (13),
6	Akmola (2), Kostanay (10),
7	Atyrau (5)

industrial development within the framework of the corresponding Industry 4.0, characterized by the introduction of automation and digitalization of production processes. For this type of region, it is possible to create clusters characterized by the introduction of innovative

products, the interaction of science and educational production. Cities, especially megacities, are becoming centers of concentration of significant financial and material resources, as well as large investments, providing the best conditions for business development, economic growth and a comfortable life.

The fifth cluster is represented by industrial regions. It is necessary to develop the industry of the 5th cluster, in which the manufacturing industry is developed, in particular mechanical engineering, the production of machine tools, and mining equipment. These conditions are laid down in advance, and the choice of strategic priorities and areas of industrial development is very important in order to take the right competitive position in the conditions of tomorrow's market.

The sixth cluster is an agricultural and industrial region. Agriculture and the iron ore industry need to be developed. Based on the existing iron ore industry, it is necessary to develop the manufacturing industry,

Kazakhstan does not have all the necessary industries for the development of complex engineering. Therefore, Kazakhstan is forced to cooperate with other countries that have industries necessary for the production of the necessary product, i.e. there is cross-industry cooperation. Interregional cooperation is carried out primarily with neighboring countries – Russia, Belarus, Uzbekistan and Kyrgyzstan.

Conclusions

In Kazakhstan, most enterprises are focused on the raw materials sector. The industry of the Republic of Kazakhstan has a very high degree of depreciation of fixed assets. Significant financial resources are required to upgrade them. One of the directions of financing the renovation of fixed assets is a public-private partnership, in which the main financial resources for the renovation of fixed assets are invested by a private partner, thereby freeing up the state budget. On the other hand, in public-private partnership models, the return of funds from the state to the private partner does not occur immediately, but over many years, which also helps to reduce the burden on the state budget. A private partner can invest significant funds, being confident of a return on investment in the long term.

In our opinion, concessions are a promising option for upgrading fixed assets, i.e. when a foreign investor fully invests in an object with the acquisition of fixed and working capital based on full project management. The main condition is the training of local staff. At the end of the concession period, the investor leaves the facility and its management is transferred to local trained personnel.

Joint ventures are a common practice of setting up enterprises with fixed assets at the level of leading foreign enterprises. A foreign company is building a plant using its modern technologies in Kazakhstan. This company is immediately capable of producing world-class quality products and providing local markets with the necessary goods. It is useful to spread this experience throughout the country.

Acknowledgements: *this research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19680223).*

REFERENCES

1. Siheng R, Gengyuan L, Yan H, Yan Zhang, Meirong S. Energy Transfer Diagrams and Efficiency Analysis of Coal Industry Chain in Jing-Jin-Ji Region. Energy Procedia 104, 2024, 532-537.
2. Moschetti R, Brattebo H. Sustainable Business Models for Deep Energy Retrofitting of Buildings: State-of-the-art and Methodological Approach. Energy Procedia 96, 2016, 435-445.
3. Zhu W., Zhu Y., Lin H., Yu Y. Technology progress bias, industrial structure adjustment, and regional industrial economic growth motivation – research on regional industrial transformation and upgrading based on the effect of learning by doing, Technol. Forecast. Soc. Change 170, 120928, https://doi. org/10.1016/j. techfore, 2021, 120928.
4. You J., Zhang W. How heterogeneous technological progress promotes industrial structure upgrading and industrial carbon efficiency? Evidence from China's industries, Energy 247, 2022, 123386, https://doi. org/10.1016/j.energy, 2022, 123386.
5. Bloem J., Van Doorn, M., Duivestein S., Excoffier D., Maas R., Van Ommeren, E. The Fourth Industrial Revolution. Things Tighten, 2014, 40.
6. Alimbetov U.S., Zaynelova G.Z., Krause N.V., Turdieva Z.M. Analiz sostoyaniya i tendentsii innovatsionnogo

razvitiya ekonomiki Kazakhstana [Analysis of the State and Trends of Innovative Development of the Economy of Kazakhstan]. Bulletin of the University «Turan», 2018, (3), 9-15. [in Russian].
7. Kotynkova M. Industry 4.0: Europe's (re)industrialization needs a global level, in: 16th International Scientific Conference Globalization and Its Socio-Economic Consequences, 2016, 1014-1021.
8. Santos C., Mehrsai A., Barros A.C., Araújo M., Ares E., Towards industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps. Procedia Manufacturing, 2017, Volume 13, 972-979
9. Severo E.A., de Guimaraes, J.C.F., Dorion E.C.H. Cleaner production and environmental management as sustainable product innovation antecedents: a survey in Brazilian industries. J. Clean., Prod. 142, 2017, 87-97.
10. Data of Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan Bureau of National Statistics. Retrieved from https://stat.gov.kz/

Қазақстан Республикасындағы өнеркәсіптік өндірістің қазіргі таңдағы жағдайын талдау

*[1]**МАМРАЕВА Динара Габитовна,** э.ғ.к., кафедра меңгерушісі, dina2307@mail.ru,*
*[1]**ТАШЕНОВА Лариса Владимировна,** э.ғ.к., институт директоры, larisatash_88@mail.ru,*
*[1]***МУКАНОВ Аскар Лерманулы,** докторант, askar.kazakhstan@gmail.com,*
*[2]**КАЛИНИНА Ольга Владимировна,** э.ғ.д., жоғары мектептің директоры, olgakalinina@bk.ru,*
[1]«Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті» КеАҚ, Университет көшесі, 28, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Ұлы Петр Санкт-Петербург политехникалық университеті, Политехникалық көшесі, 29, Санкт-Петербург, Ресей,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Қазақстан Республикасындағы өнеркәсіптік өндірістің жай-күйіне талдау жасалды. Зерттеудің негізгі әдісі ретінде статистикалық әдіс қолданылды. Зерттеу нысаны Қазақстан Республикасының өнеркәсіптік кәсіпорындары болды. Өнеркәсіптік кәсіпорындардың рентабельділігі өнімдері нарықта сұранысқа ие салаларды таңдаумен анықталады, бірақ Қазақстанда олар негізінен шикізат секторына бағытталған. Қазақстандық өнеркәсіпті ақпараттандыру деңгейі шет елдерден төмен. Өнеркәсіпте негізгі құралдардың тозуының жоғары деңгейі байқалады. Оларды модернизациялау үшін қомақты қаржы ресурстары қажет. АКТ технологиялары мен инновацияларын жаңғырту Қазақстан Республикасында шикізаттық емес секторды дамыту үшін қажет. Негізгі құралдарды жаңартуды қаржыландыру бағыттарының бірі мемлекеттік-жекеменшік серіктестік және инвестициялар болып табылады.*

***Кілт сөздер:** өнеркәсіп, өндіріс, талдау, сектор, ақпараттандыру, амортизация, инвестициялар, мемлекеттік-жекешелік әріптестік, инновациялар, өнімдер.*

Анализ современного состояния промышленного производства в Республике Казахстан

*[1]**МАМРАЕВА Динара Габитовна,** к.э.н., зав. кафедрой, dina2307@mail.ru,*
*[1]**ТАШЕНОВА Лариса Владимировна,** к.э.н., директор института, larisatash_88@mail.ru,*
*[1]***МУКАНОВ Аскар Лерманулы,** докторант, askar.kazakhstan@gmail.com,*
*[2]**КАЛИНИНА Ольга Владимировна,** д.э.н., директор высшей школы, olgakalinina@bk.ru,*
[1]НАО «Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова», ул. Университетская, 28, Караганда, Казахстан,
[2]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Проведен анализ состояния промышленного производства в Республике Казахстан. В качестве основного метода исследования был использован статистический метод. Объектом исследования стали промышленные предприятия Республики Казахстан. Рентабельность промышленных предприятий определяется выбором тех отраслей, продукция которых пользуется спросом на рынке, но в Казахстане они в основном ориентированы на сырьевой сектор. Степень информатизации казахстанской промышленности уступает зарубежным странам. В промышленности наблюдается высокая степень износа основных фондов. Для их модернизации требуются значительные финансовые ресурсы. Модернизация ИКТ-технологий и инноваций необходима для развития несырьевого сектора в Республике Казахстан. Одним из направлений финансирования обновления основных фондов является государственно-частное партнерство и инвестиции.*

Ключевые слова: *промышленность, производство, анализ, сектор, информатизация, амортизация, инвестиции, государственно-частное партнерство, инновации, продукция.*

REFERENCES

1. Siheng R, Gengyuan L, Yan H, Yan Zhang, Meirong S. Energy Transfer Diagrams and Efficiency Analysis of Coal Industry Chain in Jing-Jin-Ji Region. Energy Procedia 104, 2024, 532-537.
2. Moschetti R, Brattebo H. Sustainable Business Models for Deep Energy Retrofitting of Buildings: State-of-the-art and Methodological Approach. Energy Procedia 96, 2016, 435-445.
3. Zhu W., Zhu Y., Lin H., Yu Y. Technology progress bias, industrial structure adjustment, and regional industrial economic growth motivation – research on regional industrial transformation and upgrading based on the effect of learning by doing, Technol. Forecast. Soc. Change 170, 120928, https://doi. org/10.1016/j. techfore, 2021, 120928.
4. You J., Zhang W. How heterogeneous technological progress promotes industrial structure upgrading and industrial carbon efficiency? Evidence from China's industries, Energy 247, 2022, 123386, https://doi. org/10.1016/j.energy, 2022, 123386.
5. Bloem J., Van Doorn, M., Duivestein S., Excoffier D., Maas R., Van Ommeren, E. The Fourth Industrial Revolution. Things Tighten, 2014, 40.
6. Alimbetov U.S., Zaynelova G.Z., Krause N.V., Turdieva Z.M. Analiz sostoyaniya i tendentsii innovatsionnogo razvitiya ekonomiki Kazakhstana [Analysis of the State and Trends of Innovative Development of the Economy of Kazakhstan]. Bulletin of the University «Turan», 2018, (3), 9-15. [in Russian].
7. Kotynkova M. Industry 4.0: Europe's (re)industrialization needs a global level, in: 16th International Scientific Conference Globalization and Its Socio-Economic Consequences, 2016, 1014-1021.
8. Santos C., Mehrsai A., Barros A.C., Araújo M., Ares E., Towards industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps. Procedia Manufacturing, 2017, Volume 13, 972-979
9. Severo E.A., de Guimaraes, J.C.F., Dorion E.C.H. Cleaner production and environmental management as sustainable product innovation antecedents: a survey in Brazilian industries. J. Clean., Prod. 142, 2017, 87-97.
10. Data of Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan Bureau of National Statistics. Retrieved from https://stat.gov.kz/

Автоматика. Энергетика. ИКТ

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_361 ӘОЖ 004.8

Машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану арқылы стрессті бағалау

***ЖОЛДАС Нұрасыл Айдосұлы,** магистр, оқытушы, Nurassyl.Zholdas@kaznu.edu.kz,
ТЮЛЕПБЕРДИНОВА Гульнур Алпыскызы, ф.-м.ғ.к., доцент, Tyulepberdinova@gmail.com,
МАНСУРОВА Мадина Есимхановна, ф.-м.ғ.к., профессор, madina.mansurova@kaznu.edu.kz,
КУНЕЛБАЕВ Мұрат Меркебекұлы, т.ғ.к., аға оқытушы, murat7508@yandex.kz,
АМИРХАНОВА Гульшат Аманжоловна, PhD, аға оқытушы, gulshat.aa@gmail.com,
«Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» КеАҚ, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Стрессті анықтау үшін смарт-сағаттардан алынған физиологиялық көрсеткіштерді машиналық оқыту әдістерімен анализдеу қарастырылған. Заманауи смарт-сағаттардан алынған пульс, қан қысымы, қанның глюкоза деңгейі, оттегі мөлшері, температура және т.б. деректер стрессті анықтау үшін қолданылды. Бұл параметрлер стресстің деңгейін бағалау үшін қажетті ақпаратты қамтамасыз етеді, себебі олар адамның физиологиялық күйінің өзгерістерін көрсетеді. Зерттеу барысында алынған деректер машиналық оқыту алгоритмдері, атап айтқанда, KNN, Random Forest, Decision Tree және Gradient Boosting модельдері арқылы өңделді. Зерттеу нәтижелері машиналық оқыту әдістерінің стрессті анықтаудағы тиімділігін көрсетіп, болашақта жеке денсаулықты бақылау мен психологиялық жағдайды жақсартуға бағытталған заманауи шешімдер жасауға ықпал етеді. Сонымен қатар, бұл әдістер денсаулық сақтау саласындағы қолданбаларды дамытуға, аурулардың алдын алуға және психологиялық денсаулықты нығайтуға жәрдемдеседі.*

Кілт сөздер: *стресс, физиологиялық көрсеткіш, машиналық оқыту, жүрек соғу жиілігі, тыныс алу жиілігі, температура, физикалық белсенділік.*

Кіріспе. Стресс қазіргі заманның ең кең таралған психологиялық проблемаларының бірі болып табылады. Оның денсаулыққа әсері терең зерттелген және стресстің жо-

ғары деңгейі адам организміне физиологиялық, психологиялық және эмоциялық тұрғыдан теріс әсер етуі мүмкін [1]. Мысалы, ұзақ мерзімді стресс жүрек аурулары, қант диабеті, депрессия және басқа да аурулардың пайда болуына ықпал етуі мүмкін. Сондықтан стрессті бақылау мен басқару қазіргі қоғамда ерекше маңызға ие болып отыр.

Заманауи технологиялар, соның ішінде, смарт-сағаттар мен фитнес-трекерлер стресс деңгейін бақылауға мүмкіндік беретін тиімді құралдар болып табылады [2]. Бұл құрылғылар түрлі физиологиялық параметрлерді, соның ішінде, жүрек соғу жиілігі, терінің электр өткізгіштігі, тыныс алу жиілігі және температураны өлшей алады. Олардың арқасында пайдаланушылар өздерінің денсаулығы мен психологиялық жағдайларын қадағалауға мүмкіндік алады. Алайда, алынған деректерді тиімді пайдалану және стрессті дәл анықтау үшін дәстүрлі әдістер жеткіліксіз болуы мүмкін.

Машиналық оқыту – деректерді анализдеудің тиімді тәсілдерінің бірі, ол үлкен көлемдегі мәліметтерді өңдеу және олардан құнды ақпарат алу үшін қолданылатын алгоритмдер мен модельдерді қамтиды. Статистикалық әдістер мен машиналық оқытудың әдістерін қолдана отырып, зерттеушілер деректердегі күрделі құрылымдарды және үлгілерді тануға қабілетті, бұл стресстің деңгейін бағалауда физиологиялық көрсеткіштерді пайдалануға мүмкіндік береді [3]. Машиналық оқыту модельдері деректерді классификациялау, регрессия және кластерлеу сияқты әдістерді пайдалану арқылы стрессті бағалаудың жаңа тәсілдерін ұсынып, алынған мәліметтерді интерпретациялауға ықпал етеді.

Тақырып бойынша зерттеулерге шолу. [4] мақалада стрессті анықтау үшін бірнеше машиналық оқыту және терең оқыту әдістері қолданылған. Зерттеу жұмысының негізгі мақсаты – стресстің деңгейін дер кезінде анықтап, болашақта денсаулыққа теріс әсер етуінің алдын алу. Зерттеу барысында қолданылған деректер жиынтығы SAID деп аталады, оны жинау үшін MySignals медициналық құрылғылар жиынтығы пайдаланылды. Бұл жиынтық арқылы зерттеушілер терінің гальваникалық реакциясы (GSR) және электрокардиограмма (ECG) сенсорларының көмегімен физиологиялық мәліметтерді жинады. Деректер 20-22 жас аралығындағы 252 студенттерден жиналды. Оларға әр түрлі ұзақтықтағы (2-5 минут) YouTube бейнероликтерін қарау тапсырылды, содан кейін олардың эмоциялық күйіне қатысты жауап беруі сұралды. Әр қатысушының GSR және ECG көрсеткіштері жазылды, ал өңделген мәліметтерден қажетті сипаттамалар (орташа мән, медиана, стандартты ауытқу және т.б.) алынды. Зерттеуде стресс деңгейін анықтау үшін Көпқабатты перцептрон (MLP), Шешімдер ағашы (DT), К-ең жақын көрші (KNN), Тірек векторлар әдісі (SVM) және Терең оқыту (DL) алгоритмдері қолданылды. Деректер жиынтығы 70%-ы үйрету, ал 30%-ы тексеру үшін бөлінді. Нәтижелерге сәйкес, Шешімдер ағашы (DT) алгоритмі 95% дәлдікпен (accuracy) ең жоғары көрсеткіштерді көрсетті. Зерттеуде тек GSR және ECG көрсеткіштері қолданылды. Стресс деңгейін анықтау үшін жүрек соғу жиілігі, тыныс алу жиілігі, қан қысымы, дене температурасы сияқты қосымша көрсеткіштерді қосу нәтижелерді жақсартып, әдістің кешенділігін арттыруы мүмкін.

[5] зерттеу WESAD деп аталатын көпмодальды физиологиялық деректер жинағына негізделген. Бұл жинақта 15 қатысушының стресс, нейтралды күй және көңіл-күй көтеріңкі жағдайлары кезіндегі физиологиялық көрсеткіштері бар. Стресс деңгейін бағалау үшін үш осьті акселерометр (ACC), электрокардиограмма (ECG), қан көлемі импульсі (BVP), дене температурасы (TEMP), тыныс алу (RESP), электромиограмма (EMG) және терінің электр өткізгіштігі (EDA) сияқты көрсеткіштер қолданылды. Стрессті анықтау үшін К-ең жақын көрші (KNN), Сызықтық дискриминантты талдау (LDA), Кездейсоқ орман (RF), Шешімдер ағашы (DT), AdaBoost (AB), Kernel SVM және Терең оқыту алгоритмдері қолданылды. WESAD жинағындағы әрбір сенсордан алынған мәліметтерден орташа мән, стандартты ауытқу, минималды және максималды мән сияқты статистикалық сипаттамалар алынды. Деректерді өңдеу үшін Principal Component Analysis (PCA), Quantile Transformer, және Standard Scalar қолданылды. Үш кластық (көңіл-күй, нейтралды, стресс) және бинарлық (стресс және стрессіз) классификация тапсырмалары орындалды. Үш класты классификацияда Kernel SVM әдісі 81.65% дәлдік көрсетті, ал терең оқыту нейрондық желісі 84.32% дәлдікке қол жеткізді. Бинарлық классификацияда Kernel SVM әдісі 93.20% дәлдікке жетті, ал терең оқыту нейрондық желісі 95.21% дәлдік көрсетті.

[6] мақалада стрессті анықтау үшін машиналық оқыту, IoT және киілетін сенсорлар негізінде «Stress-Track» жүйесі ұсынылған. Бұл жүйе адам ағзасының температурасы, терлеу деңгейі және қадам саны сияқты физиологиялық параметрлерді бақылай отырып, стрессті анықтайды. Қолданылған деректер жиынтығында 2001 жазба бар және олар адам денесінің температурасы, ылғалдылық деңгейі, қадам саны мен стресс деңгейі туралы мәліметтерден тұрады. Стресс үш

категорияға бөлінген: төмен, қалыпты және жоғары. Қолданылған әдістер: Кездейсоқ орман (RF), Градиентті күшейту (GB), Стектелген ансамбль әдісі (SEM). Модель 99.5% дәлдікке қол жеткізді, бұл стресс деңгейін дәл анықтаудағы жүйенің жоғары тиімділігін көрсетеді. Модельдің тиімділігін дәлелдейтін AUC мәні 0.95-ке тең.

[7] мақалада стрессті анықтау үшін қашықтықтан фотоплетизмография (rPPG) және терең оқыту (DL) әдістері қолданылған. Зерттеудің негізгі мақсаты – бет видео деректерінен алынған физиологиялық сигналдар арқылы DL модельдері көмегімен стресс деңгейін анықтау. Бұл әдіс датчиктерді қолданбай, тек камера арқылы жүрек соғу жиілігінің өзгеруін талдауға мүмкіндік береді. Зерттеу барысында UBFC-Phys деректер жинағы пайдаланылған. Онда 56 дені сау адамның физиологиялық деректері бар, бірақ техникалық және рұқсат мәселелеріне байланысты 12 қатысушы шығарылған. Қатысушылар жас аралығы 19-38 жас (орташа жас 21.8) болған. Стресстік жағдайды индукциялау үшін Триер әлеуметтік стресс тестінің (TSST) модификациясы қолданылған. Стрессті анықтау үшін бұл деректерден алынған қан көлемі импульсі (BVP) сигналдары пайдаланылған. Мақалада әртүрлі терең оқыту модельдері (LSTM, GRU және 1D-CNN) пайдаланылып, оларды деректерді өңдеу үшін оңтайландыру әдістері қолданылған. Әр модельдің өнімділігі нақты дәлдік, сезімталдық және жылдамдық көрсеткіштері арқылы салыстырылған. Жүрек соғу жиілігін анықтау үшін pyVHR құралдар жинағы қолданылған, ал бұл сигналдар кейін әртүрлі DL модельдері арқылы өңделген. Зерттеу нәтижесінде ұсынылған DL модельдері rPPG сигналдарын өңдеуде 95.83% дәлдікке жеткен. Әсіресе, 1D-CNN модельдері жоғары өнімділік көрсеткен.

[8] зерттеуде стрессті анықтау үшін терең оқыту әдістері және Empatica E4 сағаты арқылы жиналған физиологиялық деректер қолданылған. Зерттеу стрессті автоматты түрде анықтау мақсатында түсіндіруге бейімделген терең оқыту моделін ұсынады. Мақалада LSTM (Long-Short Term Memory) және шартты GAN (Generative Adversarial Network) әдістері қолданылды. Бұл DL әдістері электро-дермальды белсенділік (EDA) және тері температурасы (ST) сияқты физиологиялық сигналдарды өңдеу үшін әзірленген. Сонымен қатар, нақты стресстің ерекшеліктерін көрсету үшін IG (Integrated Gradients) әдісі қолданылды. Экспериментте аудио тітіркендіргіштер арқылы стрессті индукциялауға тырысты, ал EDA және ST сигналдары жазылды. Зерттеу барысында алынған деректер шу мен артефактілерді азайту үшін сүзгіден өткізілді, содан кейін 16 секундтық уақыт терезесіне бөлінді. Нәтижелер DL моделінің дәстүрлі ережеге негізделген әдіске қарағанда дәлірек екенін көрсетті. LSTM моделі еске түсіру (recall) бойынша 3% және дәлдік (precision) бойынша 7,18% артық нәтижеге жетті. Алайда, тері температурасының өзгеруі қысқа мерзімді стресс кезінде айтарлықтай әсер етпейтіні анықталды.

[9] мақалада стрессті анықтау үшін Empatica E4 білезігімен жиналған физиологиялық сигналдарды талдау әдістері қолданылған. Зерттеудің мақсаты – стрессті бақылайтын құрылғыны әзірлеуге арналған Stress-Predict деректер жинағын құру және стрессті анықтайтын физиологиялық көрсеткіштердің сезімталдығы мен спецификалық қасиеттерін бағалау. Зерттеу кезінде қатысушылардың қан көлемі импульсі (BVP), жүрек соғу жиілігі (HR) және тыныс алу жиілігі (RR) өлшеніп, белгіленген уақыт аралығында жазылды. Жиналған деректерді талдау үшін екі статистикалық әдіс қолданылды. Сызықтық аралас модель (Linear Mixed Model) – популяциялық талдау үшін HR және RR өзгерісін салыстыруға мүмкіндік береді. Адаптивті анықтамалық диапазон – әр қатысушының жеке нәтижелерімен салыстыра отырып, өзгерістерді бақылау үшін бейімделген диапазонды есептеу әдісі. Деректер 35 қатысушыдан жиналды. BVP арқылы жүрек соғу жиілігі мен тыныс алу жиілігі анықталған. Әрбір тапсырма кезінде алынған деректер тыныс алу және жүрек соғу жиілігіндегі өзгерістерді бағалау үшін пайдаланылды. Популяциялық талдау – стресс кезінде жүрек соғу жиілігі орташа алғанда 1.40 соққыға (минутына) артып, ал тыныс алу жиілігі 0.20 ретке көбейгені анықталды. Жеке талдау – әр қатысушының стресс кезінде алынған деректері бейімделген анықтамалық диапазонмен салыстырылып, нақты уақыт режимінде ескерту жүйесін орнатуға болатыны анықталды.

Машиналық оқыту арқылы стресс деңгейін классификациялау. Бұл бөлімде стресс деңгейін бағалау үшін қолданылған машиналық оқыту алгоритмдері туралы жазылған. Негізгі мақсат – физиологиялық параметрлердің негізінде стресс деңгейін классификациялау.

Зерттеу процесі келесі кезеңдерден тұрды:

1. Деректерді жинау: Стресс деңгейін бағалау үшін смарт-сағаттардан алынған физиологиялық параметрлер негізінде деректер жинақталды.

2. Деректерді алдын ала өңдеу: Деректерді өңдеу барысында керек емес жолдар мен бос мәндер жойылды.

3. Стресс индексін есептеу: Стресс индексі әр түрлі физиологиялық параметрлер-

ді нормализациялаумен анықталды. Нормализациялау процесі әр параметрдің өлшем бірлігін бірдейлестіріп, суммалаудағы әртүрлілік мәселесін шешуге мүмкіндік береді. Нормализацияланған деректердің орташа мәні стресс индексі ретінде есептелді. Нормализация үшін кодта sklearn.preprocessing кітапханасының StandardScaler класы пайдаланылады.

4. Стресс деңгейін классификациялау: Стресс индексі негізінде стресс деңгейі («тыныш», «қалыпты», «орташа», «жоғары») классификацияланды.

5. Нәтижелерді бағалау: Модельдің тиімділігі precision, recall, f1-score және accuracy сияқты метрикалар арқылы бағаланды.

Деректерді жинау үшін медициналық класты Xiaomi смарт-сағаты және Xiaomi Mi Band 5 фитнес-білезігі қолданылды. Медициналық класты Xiaomi смарт-сағатының көмегімен келесі физикалық параметрлер өлшенді: пульс (bpm), қан қысымы (mmHg), қандағы глюкоза деңгейі (mmol/L), қандағы оттегі деңгейі (%), тыныс алу жиілігі (rpm), температура (°C), қандағы май деңгейі (mmol/L) және зәр қышқылы (μmol/L). Xiaomi Mi Band 5 фитнес-білезігінің көмегімен пульс және стресс деңгейі жинақталды. Стресс деңгейін классификациялау үшін келесі категориялар алынды:

1. Тыныш (Индекс < -1): бұл деңгей төмен стресс күйін көрсетеді. Осы жағдайда организм қалыпты жұмыс істейді, физиологиялық көрсеткіштер, мысалы, жүрек соғу жиілігі мен артериалды қысым, оңтайлы деңгейде болады. Деректер адам ұйықтап жатқанда немесе демалып жатқанда жиналуы мүмкін.

2. Қалыпты (-1 ≤ Индекс < 0): осы диапазонда индекс қалыпты күйді көрсетеді, яғни стресс деңгейі қалыпты шегінде. Бұл адамның күнделікті қызметтерімен байланысты, стресс басқару қиындықсыз өтеді және теріс салдарларды туындатпайды.

3. Орташа (0 ≤ Индекс < 1): бұл деңгей стресс бар екенін білдіреді, ол күнделікті міндеттер немесе қиындықтармен туындауы мүмкін. Осы жағдайда денсаулық көрсеткіштері өзгеріп отыруы мүмкін, бірақ әлі де критикалық мәндерге жетпейді.

4. Жоғары (Индекс ≥ 1): осы диапазонда стресс деңгейі күшті күйзеліс немесе уайым екенін көрсетеді. Осы жағдайда организм физиологиялық өзгерістерге ұшырауы мүмкін, мысалы, жүрек соғу жиілігінің және артериалды қысымның жоғарылауы, бұл жалпы денсаулыққа теріс әсер етуі мүмкін.

Стресс деңгейін классификациялау үшін келесі машиналық оқыту алгоритмдері қолданылды: Кездейсоқ орман (RF), Шешімдер ағашы (DT), Градиентті күшейту (GB), К-ең жақын көрші (KNN). Әр алгоритмнің нәтижелерін 1-суреттен көруге болады.

Ең жақсы көрсеткішті KNN алгоритмі 0,88 жалпы дәлдікпен көрсетті. Xiaomi Mi Band 5 фитнес-білезігі стресс деңгейі туралы деректерді жинайды. Оның классификациясы келесідей: 0-39% – тыныш, 40-59% – қалыпты, 60-79% – орташа және 80-100% – жоғары. Зерттеуде есептелген стресс деңгейі осы фитнес-білезіктің мәндерімен салыстырылды. 2-суретте фитнес-білезіктің және есеп-

Decision Tree үшін нәтижелер:

	precision	recall	f1-score	support
орташа	0.86	0.86	0.86	7
тыныштық	0.50	1.00	0.67	1
қалыпты	0.86	0.75	0.80	8
accuracy			0.81	16
macro avg	0.74	0.87	0.77	16
weighted avg	0.83	0.81	0.82	16

а)

Random Forest үшін нәтижелер:

	precision	recall	f1-score	support
орташа	0.86	0.86	0.86	7
тыныштық	0.00	0.00	0.00	1
қалыпты	0.78	0.88	0.82	8
accuracy			0.81	16
macro avg	0.54	0.58	0.56	16
weighted avg	0.76	0.81	0.79	16

ә)

KNN үшін нәтижелер:

	precision	recall	f1-score	support
орташа	0.78	1.00	0.88	7
тыныштық	1.00	1.00	1.00	1
қалыпты	1.00	0.75	0.86	8
accuracy			0.88	16
macro avg	0.93	0.92	0.91	16
weighted avg	0.90	0.88	0.87	16

б)

Gradient Boosting үшін нәтижелер:

	precision	recall	f1-score	support
орташа	0.62	0.71	0.67	7
тыныштық	1.00	1.00	1.00	1
қалыпты	0.71	0.62	0.67	8
accuracy			0.69	16
macro avg	0.78	0.78	0.78	16
weighted avg	0.69	0.69	0.69	16

в)

1-сурет – Машиналық оқыту алгоритмдерінің нәтижелері: а) DT, ә) RF, б) KNN, в) GB

а)

	stress_index	stress_level	predicted_stress_level
42	-1.327354	тыныш	тыныш
43	-0.083633	қалыпты	қалыпты
44	0.324735	орташа	орташа
45	0.344378	орташа	орташа
46	0.367319	орташа	орташа
47	0.409135	орташа	орташа
48	0.411057	орташа	орташа
49	0.191381	орташа	орташа
50	0.022773	орташа	орташа
51	0.347150	орташа	орташа
52	0.513909	орташа	орташа
53	0.263897	орташа	орташа
54	0.201402	орташа	орташа
55	0.244865	орташа	орташа
56	0.312865	орташа	орташа
57	-0.000198	қалыпты	қалыпты

ә)

2-сурет – Стресс деңгейлері: а) Xiaomi Mi Band 5, ә) RF алгоритмінің нәтижесі

телген стресс деңгейлерінің категориялары бірдей екенін көруге болады (қызылмен белгіленген мәндер фитнес-білезіктің өлшеген уақытына сәйкес келетін жолдар).

Қорытынды. Зерттеу барысында стрессті бағалау үшін физиологиялық параметрлердің мәнін анықтау мақсатында әртүрлі машиналық оқыту алгоритмдері қолданылды. Деректерді жинау процесі смарт-сағаттар арқылы жүзеге асырылды, бұл көрсеткіштер адамның психоэмоционалдық жағдайын бағалауға мүмкіндік берді. Нормализациялау әдісі арқылы деректердің шкаласын біркелкі ету, модельдердің дәлдігін арттыруға және алгоритмдердің тиімділігін қамтамасыз етуге септігін тигізді. Тестілеу нәтижелері көрсеткендей, Random Forest, Decision Tree, K-Nearest Neighbors (KNN) және Gradient Boosting сияқты алгоритмдер әртүрлі деңгейдегі тиімділікке ие болды. KNN алгоритмі дәлдігі мен жалпы жұмыс тиімділігін көрсету арқылы стрессті анықтау бойынша жоғары нәтижелер көрсетті. Болашақта зерттеу нәтижелерін дамыту және нақты уақыт режимінде стрессті бақылау жүйелерін әзірлеу үшін қолданылған әдістер мен алгоритмдердің мүмкіндіктерін кеңейту қажет. Стрессті бағалау үшін қолжетімді болатын жаңа параметрлер мен деректерді қосу, сонымен қатар, пайдаланушыға арналған интерфейстер мен құралдарды дамыту – адамның психикалық денсаулығын сақтау мен бақылау жүйесін тиімді етуге мүмкіндік береді.

Алғыс. *Бұл мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің No. AP23488439 «Қазақстандағы студенттердің стресс мониторингі үшін IoT базасында киілетін құрылғыларды әзірлеу және енгізу» (2024-2026) жобасымен қаржыландырылды.*

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Everly, G.S., Lating, J.M. (2019). The Anatomy and Physiology of the Human Stress Response. In: A Clinical Guide to the Treatment of the Human Stress Response. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9098-6_2
2. Sun, W., Guo, Z., Yang, Z., Wu, Y., Lan, W., Liao, Y., Wu, X., & Liu, Y. (2022). A Review of Recent Advances in Vital Signals Monitoring of Sports and Health via Flexible Wearable Sensors. Sensors (Basel, Switzerland), 22 (20), 7784. https://doi.org/10.3390/s22207784
3. Hosseini, Elahe & Fang, Ruijie & Zhang, Ruoyu & Parenteau, Anna & Hang, Sally & Rafatirad, Setareh & Hostinar, Camelia & Orooji, Mahdi & Homayoun, Houman. (2022). A Low Cost EDA-based Stress Detection Using Machine Learning. 2619-2623. 10.1109/BIBM55620.2022.9995093.

4. Zainudin, Z. & Hasan, Sabbir & Shamsuddin, S.M. & Argawal, S. (2021). Stress Detection using Machine Learning and Deep Learning. Journal of Physics: Conference Series. 1997. 012019. 10.1088/1742-6596/1997/1/012019.
5. Bobade, Pramod & M., Vani. (2020). Stress Detection with Machine Learning and Deep Learning using Multimodal Physiological Data. 51-57. 10.1109/ICIRCA48905.2020.9183244.
6. Al-Atawi, Abdullah & Alyahayn, Saleh & Alatawi, Mohammed & Sadad, Tariq & Manzoor, Dr Tareq & Farooq-i-Azam, Muhammad & Khan, Zeashan. (2023). Stress Monitoring Using Machine Learning, IoT and Wearable Sensors. Sensors. 10.3390/s23218875.
7. Fontes, L., Machado, P., Vinkemeier, D., Yahaya, S., Bird, J.J., & Ihianle, I.K. (2024). Enhancing Stress Detection: A Comprehensive Approach through rPPG Analysis and Deep Learning Techniques. Sensors (Basel, Switzerland), 24 (4), 1096. https://doi.org/10.3390/s24041096
8. Moser, Martin & Ehrhart, Maximilian & Resch, Bernd. (2024). An Explainable Deep Learning Approach for Stress Detection in Wearable Sensor Measurements. Sensors. 24. 5085. 10.3390/s24165085.
9. Iqbal, T., Simpkin, A. J., Roshan, D., Glynn, N., Killilea, J., Walsh, J., Molloy, G., Ganly, S., Ryman, H., Coen, E., Elahi, A., Wijns, W., & Shahzad, A. (2022). Stress Monitoring Using Wearable Sensors: A Pilot Study and Stress-Predict Dataset. Sensors (Basel, Switzerland), 22 (21), 8135. https://doi.org/10.3390/s22218135

Оценка стресса с использованием алгоритмов машинного обучения

ЖОЛДАС Нурасыл Айдосулы, *магистр, преподаватель, Nurassyl.Zholdas@kaznu.edu.kz,*
ТЮЛЕПБЕРДИНОВА Гульнур Алпыскызы, *к.ф.-м.н., доцент, Tyulepberdinova@gmail.com,*
МАНСУРОВА Мадина Есимхановна, *к.ф.-м.н., профессор,*
madina.mansurova@kaznu.edu.kz,
КУНЕЛБАЕВ Мурат Меркебекович, *к.т.н., старший преподаватель, murat7508@yandex.kz,*
АМИРХАНОВА Гульшат Аманжоловна, *PhD, старший преподаватель,*
gulshat.aa@gmail.com,
НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан,

**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассматривается анализ физиологических показателей, полученных со смарт-часов, с помощью методов машинного обучения для определения уровня стресса. Данные, такие как пульс, артериальное давление, уровень глюкозы в крови, уровень кислорода, температура и другие параметры, полученные с современных смарт-часов, использовались для оценки стресса. Эти показатели обеспечивают необходимую информацию для определения уровня стресса, поскольку они отражают изменения в физиологическом состоянии человека. Полученные в ходе исследования данные обрабатывались с использованием алгоритмов машинного обучения, таких как KNN, Random Forest, Decision Tree и Gradient Boosting. Результаты исследования показывают эффективность методов машинного обучения в определении уровня стресса и способствуют разработке современных решений для мониторинга состояния здоровья и улучшения психологического состояния. Кроме того, данные методы помогают развивать приложения в сфере здравоохранения, способствуя профилактике заболеваний и укреплению психического здоровья.*

Ключевые слова: *стресс, физиологические показатели, машинное обучение, частота сердечных сокращений, частота дыхания, температура, физическая активность.*

Stress Assessment Using Machine Learning Algorithms

ZHOLDAS Nurassyl, *Master's Degree, Teacher, Nurassyl.Zholdas@kaznu.edu.kz,*
TYULEPBERDINOVA Gulnur, *Cand. of Phys. and Math. Sc., Associate Professor,*
Tyulepberdinova@gmail.com,

MANSUROVA Madina, *Cand. of Phys. and Math. Sc., Professor, madina.mansurova@kaznu.edu.kz,*
KUNELBAYEV Murat, *Cand. of Tech. Sc., Senior Lecturer, murat7508@yandex.kz,*
AMIRKHANOVA Gulshat, *PhD, Senior Lecturer, gulshat.aa@gmail.com,*
NPJSC «Al-Farabi Kazakh National University», 71 Al-Farabi Avenue, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *This article examines the analysis of physiological indicators obtained from smartwatches using machine learning methods to detect stress levels. Data such as heart rate, blood pressure, blood glucose level, oxygen level, temperature, and other parameters collected from modern smartwatches were used to assess stress. These indicators provide the necessary information for stress assessment, as they reflect changes in a person's physiological state. The collected data were processed using machine learning algorithms, specifically KNN, Random Forest, Decision Tree, and Gradient Boosting models. The results of the study demonstrate the effectiveness of machine learning methods in stress detection, contributing to the development of modern solutions aimed at health monitoring and psychological well-being. Furthermore, these methods aid in the development of healthcare applications, disease prevention, and mental health support.*

Keywords: *stress, physiological indicators, machine learning, heart rate, respiratory rate, temperature, physical activity.*

REFERENCES

1. Everly, G.S., Lating, J.M. (2019). The Anatomy and Physiology of the Human Stress Response. In: A Clinical Guide to the Treatment of the Human Stress Response. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9098-6_2
2. Sun, W., Guo, Z., Yang, Z., Wu, Y., Lan, W., Liao, Y., Wu, X., & Liu, Y. (2022). A Review of Recent Advances in Vital Signals Monitoring of Sports and Health via Flexible Wearable Sensors. Sensors (Basel, Switzerland), 22 (20), 7784. https://doi.org/10.3390/s22207784
3. Hosseini, Elahe & Fang, Ruijie & Zhang, Ruoyu & Parenteau, Anna & Hang, Sally & Rafatirad, Setareh & Hostinar, Camelia & Orooji, Mahdi & Homayoun, Houman. (2022). A Low Cost EDA-based Stress Detection Using Machine Learning. 2619-2623. 10.1109/BIBM55620.2022.9995093.
4. Zainudin, Z. & Hasan, Sabbir & Shamsuddin, S.M. & Argawal, S. (2021). Stress Detection using Machine Learning and Deep Learning. Journal of Physics: Conference Series. 1997. 012019. 10.1088/1742-6596/1997/1/012019.
5. Bobade, Pramod & M., Vani. (2020). Stress Detection with Machine Learning and Deep Learning using Multimodal Physiological Data. 51-57. 10.1109/ICIRCA48905.2020.9183244.
6. Al-Atawi, Abdullah & Alyahayn, Saleh & Alatawi, Mohammed & Sadad, Tariq & Manzoor, Dr Tareq & Farooq-i-Azam, Muhammad & Khan, Zeashan. (2023). Stress Monitoring Using Machine Learning, IoT and Wearable Sensors. Sensors. 10.3390/s23218875.
7. Fontes, L., Machado, P., Vinkemeier, D., Yahaya, S., Bird, J.J., & Ihianle, I.K. (2024). Enhancing Stress Detection: A Comprehensive Approach through rPPG Analysis and Deep Learning Techniques. Sensors (Basel, Switzerland), 24 (4), 1096. https://doi.org/10.3390/s24041096
8. Moser, Martin & Ehrhart, Maximilian & Resch, Bernd. (2024). An Explainable Deep Learning Approach for Stress Detection in Wearable Sensor Measurements. Sensors. 24. 5085. 10.3390/s24165085.
9. Iqbal, T., Simpkin, A. J., Roshan, D., Glynn, N., Killilea, J., Walsh, J., Molloy, G., Ganly, S., Ryman, H., Coen, E., Elahi, A., Wijns, W., & Shahzad, A. (2022). Stress Monitoring Using Wearable Sensors: A Pilot Study and Stress-Predict Dataset. Sensors (Basel, Switzerland), 22 (21), 8135. https://doi.org/10.3390/s22218135

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_368 ӘОЖ 378.01:004.9:37

Қазақстан контекстіндегі цифрлық білім беру экожүйесі

[1]*СМАХАНОВА Айжан Корганбековна, докторант, Smakhanova84@mail.ru,
[1]АБИЛЬДАЕВА Жансая Тенеловна, докторант, zhansaya_a@mail.ru,
[1]УСКЕНБАЕВА Раиса Кабиевна, т.ғ.д., профессор,
[2]CHO Young-Im, PhD, профессор, yicho@gachon.ac.kr,
[1]КАЛЬПЕЕВА Жулдыз Бейшеналиевна, PhD, қауымдастырылған профессор,
z.kalpeyeva@satbayev.university,
[1]«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 22а, Алматы, Қазақстан,
[2]Гачон университеті, Сеул, Корея Республикасы,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Цифрлық технологиялардың қарқынды дамуы және білім беру жүйелерінің жаһандық трансформациясы жағдайында білім берудің цифрлық экожүйесі тұжырымдамасы ерекше өзектілікке ие болады. Бұл мақалада Қазақстандағы жоғары білімге баса назар аудара отырып, цифрлық білім беру экожүйесінің түсінігі мен құрылымы қарастырылады. Цифрлық экожүйені қалыптастырудың теориялық тәсілдері талданды, сондай-ақ, оны университеттік ортада іске асырудың әлемдік тәжірибесі жинақталды. Онлайн-платформаларды, цифрлық сервистерді және цифрландыру саласындағы саяси бастамаларды пайдалануды қоса алғанда, Қазақстандағы цифрлық білім беру ортасын дамытудың ағымдағы жағдайы мен перспективаларына ерекше назар аударылды. Цифрлық платформаларды, инфрақұрылымды және құзыреттерді дамыту бойынша практикалық ұсынымдар, сондай-ақ, жетекші қазақстандық университеттердің цифрлық жетілу деңгейі бойынша салыстырмалы деректер ұсынылды. Талдау нәтижелері бойынша цифрлық трансформация жағдайында жоғары білім беру жүйесінің алдында тұрған негізгі сын-қатерлерді анықтауға мүмкіндік береді.*

Кілт сөздер: *цифрлық экожүйе, жоғары білім, цифрлық трансформация, Қазақстан, EdTech, LMS, мемлекеттік саясат, цифрлық инфрақұрылым.*

Кіріспе

Цифрлық трансформация ғылымның барлық салаларында, әсіресе, білім беруде жаңа технологияларды тез игеруіне бейімделеді. Бұл тұрғыда цифрлық білім беру экожүйесінің – цифрлық платформаларды, құралдарды, инфрақұрылымды және білім беру процесінің барлық қатысушыларының өзара іс-қимылын қамтитын кешенді жүйенің қалыптасуы ерекше маңызға ие болады. Қазақстанда білім беруді цифрландыру «Цифрлық Қазақстан» сияқты стратегиялық құжаттарда көрсетілген мемлекеттік саясаттың басым міндеттерінің бірі болып табылады. Алайда, цифрлық бастамаларды іс жүзінде жүзеге асыру теория мен практика деңгейінде жүйелі көзқарас пен түсінуді қажет етеді. Бұл жұмыстың мақсаты-цифрлық білім беру экожүйесінің түсінігі мен құрылымын қарастыру, халықаралық тәжірибеге талдау жүргізу және Қазақстан Республикасындағы жоғары білімнің цифрлық трансформациясының ағымдағы жай-күйін бағалау, сондай-ақ, осы жұмыста жетекші мамандар әзірлеген цифрлық экожүйелерге салыстырмалы талдау жасау. Тиімді цифрлық экожүйелерді құрудың әмбебап қағидаларын анықтауға және оларды қазақстандық контексте бейімдеу үшін ұсынымдар ұсынуға мүмкіндік беруде салыстырмалы және талдамалық тәсілдерге сүйенеді.

Білім берудің цифрлық экожүйесінің түсінігі мен құрылымы

Жоғары білімнің цифрлық экожүйесі-бұл университетте білім беру, ғылыми және басқару мақсаттарына жетуге бағытталған өзара байланысты цифрлық платформалар, ресурстар, қызметтер мен қатысушылардың жиынтығы. Ол барлық мүдделі тараптар: студенттер, оқытушылар, зерттеушілер, әкімшілік және сыртқы серіктестер арасындағы ашықтық, жекелендіру, тұрақты даму, пәнаралық және белсенді өзара әрекеттесу принциптеріне сүйенеді. Білім берудің цифрлық экожүйесі деп икемді, тиімді және бейім-

делгіш білім беру ортасын қамтамасыз ететін өзара байланысты цифрлық сервистердің, платформалардың, инфрақұрылымдардың, білім беру ресурстарының және мүдделі субъектілердің (оқытушылар, студенттер, әкімшілер) кешені ретінде түсіндіріледі[1]. Сандық экожүйенің негізгі компоненттеріне мыналар жатады: технологиялық инфрақұрылым (желілер, құрылғылар), білім беру платформалары (LMS, MOOC), цифрлық контент, аналитикалық құралдар, білімді басқару жүйесі және коммуникация[2].

Жоғары білім берудегі цифрлық экожүйенің теориялық негіздері

Қоғамның цифрлық трансформациясы жағдайында жоғары білім беру жүйелері жаңа жағдайларға бейімделіп қана қоймай, цифрлық экожүйе принциптерін белсенді түрде енгізу қажеттілігіне ие. Жоғары білім контекстіндегі цифрлық экожүйе-сапалы оқытуды, зерттеуді қамтамасыз ететін цифрлық платформалардың, құралдардың, қатысушылардың және процестердің тұрақты, әрі икемді және біріктірілген жүйесі университет қауымдастығының дамуына зор ықпалын тигізеді.

Жоғары білім беруді цифрландырудың әлемдік тәжірибесі

Әлемдік тәжірибе көрсеткендей, цифрлық экожүйелердің табысты модельдері стратегиялық басқару және цифрлық инфрақұрылымға инвестициялар негізінде құрылады. АҚШ (MIT, Harvard, Stanford) өзінің цифрлық экожүйелерін белсенді түрде дамытуда. MIT тен mitx платформасы құрылып, ол edX жаһандық жобасының бөлігі ретінде қарастырылды және техникалық, гуманитарлық пәндер бойынша ашық курстарды ұсынды. Білім беру деректері әр студентке бағдарламаларды бейімдеу үшін Learning Analytics көмегімен талданады. Эдинбург Университеті мен Лондон университетінің колледжі сияқты Ұлыбритания университеттері гибридті және қашықтықтан оқытуды қоса алғанда, цифрлық білім беру стратегияларын енгізуде. Бірқатар университеттер қолдайтын FutureLearn платформасы студенттердің қызығушылықтары мен қажеттіліктерін талдауға негізделген курстар ұсынады. Digital Education Strategy мемлекеттік бағдарламасы EdTech және жоғары оқу орындарының цифрлық трансформациясын дамытуды ынталандырады. Сингапур smart nation стратегиясын белсенді түрде жүзеге асырып, оның шеңберінде Сингапурдың Ұлттық Университеті (NUS) сияқты университеттер адаптивті және пәнаралық оқыту үшін интеграцияланған цифрлық платформаларды енгізіп, Ai технологиялары, үлкен деректер, VR және блокчейнді қолдана бастады. Мысал ретінде студенттер мен ересектерге жаңа цифрлық құзыреттіліктерді үздіксіз игеруге мүмкіндік беретін SkillsFuture бағдарламасын келтіруге болады. Қарастырылған мысалдардан білім беруді цифрландыру елдер арасында жүйелі тәсіл мен тәжірибе алмасуды талап етеді. Қазақстан үшін үздік халықаралық тәжірибелерді пайдалану және трансұлттық білім беру жобаларына қатысу өзекті, бұл жаңа буынның цифрлық университеттерін қалыптастыруды жеделдетуге мүмкіндік береді. Зерттеуді талдай отырып, дамыған цифрлық инфрақұрылымы бар әртүрлі елдердің жетекші университеттері жоғары білім берудің цифрлық экожүйесінің әртүрлі үлгілерін көрсетеді, мысалы:

- АҚШ ауқымды платформаларды (Coursera, edX) пайдаланады және оқытуды жекелендіру үшін Learning Analytics енгізеді[3].
- Ұлыбритания AI-ны білім беру процестеріне біріктіруге және Open education-ны дамытуға баса назар аударады[4].
- Сингапур цифрлық оқыту жүйесі бойынша мемлекеттік бастамаларда жоғары оқу орындарының цифрлық инфрақұрылымына, оқытушыларының цифрлық сауаттылығын арттыруына белсенді түрде инвестиция жасайды[5]. Бұл тәжірибелер стратегиялық басқару, инновациялық мазмұн және секторараралық ынтымақтастық қажеттілігін көрсетеді. Әлемдік тәжірибе көрсеткендей, жоғары білім беруде цифрлық экожүйені сәтті құру стратегиялық жоспарлауды, инфрақұрылымға инвестицияларды, кадрларды даярлауды үйретеді. Қазақстанға цифрлық университеттік ортаның өзіндік моделін қалыптастыру кезінде осы қағидаларды ескерген жөн.

Қазақстандағы жоғары білім берудің цифрлық экожүйесін дамытудың ағымдағы үрдістері мен стратегиялары

Қазақстанның мемлекеттік саясаты «Цифрлық Қазақстан» бағдарламасы және «Білімді ұлт» ұлттық жобасы шеңберінде білім беруді цифрлық трансформациялауға бағытталған[7]. Цифрлық университеттерді құру, АКТ инфрақұрылымын дамыту, LMS және цифрлық платформаларды енгізу және оқытушыларының біліктілігін арттыру маңызды аспектілердің бірі[8]. Дегенмен, цифрлық теңсіздік мәселелері және платформаларды біріктіру қажеттілігі өзекті мәселе болып қала береді. Төмендегі кестеден Қазақстандағы жоғары оқу орындарындағы табысты тәжірибелер мен цифрлық кейстердің талдауы келтірілген.

Бұл жағдайлар айтарлықтай прогресс пен табысты тәжірибені масштабтау әлеуетін көрсетеді.

Зерттеу әдістері

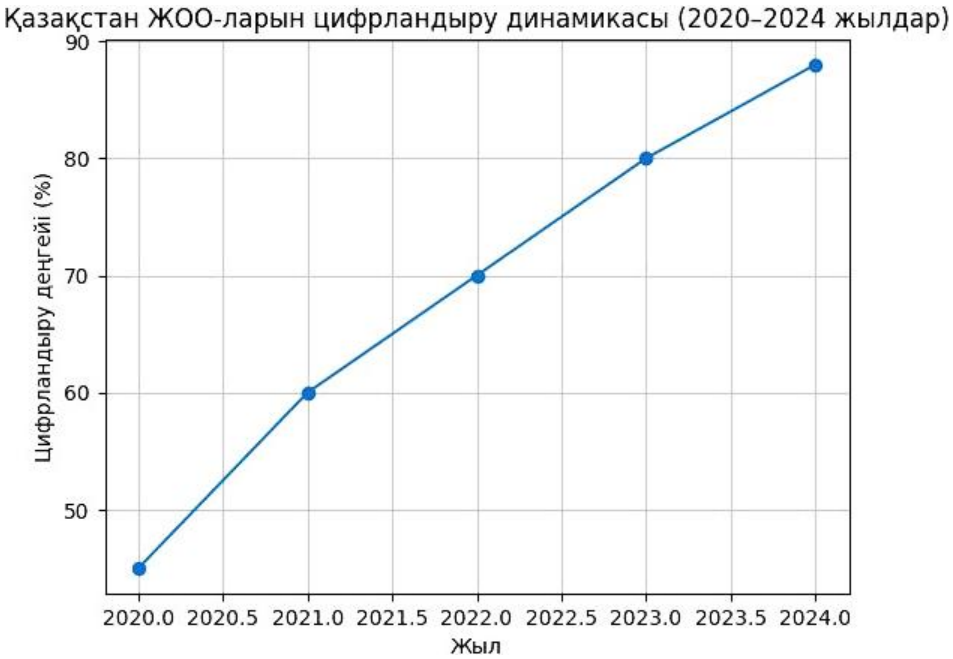
Зерттеу сапалық және сандық талдау әдістерінің кешенін қолдануға негізделген. Негізгі әдіснамалық тәсілдер:

- Салыстырмалы-аналитикалық әдіс

Қазақстанның жетекші университетте-

Жоғары оқу орындарының цифрлық білім беру экожүйесін салыстырмалы талдау

Критерийлер	Назарбаев Университеті	Satbayev University	Astana IT University	Әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті
LMS	Canvas	Moodle, Platonus	Canvas, Moodle	Platonus
Сандық инфрақұрылым	Жоғары деңгей	Дамыған	Заманауи	Жақсы
Онлайн оқыту	MOOC, Coursera	Ішкі курстар	VR/AR, гибридті оқыту	Онлайн-курстар
EdTech платформалар	Turnitin, EdX	Bilimland, Google Workspace	Blockchain, EdTech Tools	Google Classroom
Киберқауіпсіздік	GDPR, қызметкерлерді оқыту	Базалық стандарттар	Деректерді қорғау саясаты	Қауіпсіздік ережелері



2020-2024 жылдардағы Қазақстанның жоғары оқу орындарын цифрландыру динамикасы

рінің (Назарбаев Университеті, Satbayev University, Astana it University, ҚазҰУ) цифрлық экожүйелерін салыстыру үшін пайдаланылған салыстырмалы-аналитикалық әдіс.

- «Цифрлық Қазақстан», «Білімді ұлт» мемлекеттік бағдарламаларын және білім беруді цифрлық трансформациялау стратегиясын қоса алғанда, нормативтік және стратегиялық құжаттардың **контент-талдауы** (2023-2025 жж.).

- Сараптамалық бағалау әдісі

Жоғары оқу орындарының есептерін, білім беруді цифрландыру саласындағы мамандардың сұхбаттары мен жарияланымдарын талдауға негізделген сараптамалық бағалау әдісі.

- Жүйелік тәсіл

Цифрлық экожүйені технологиялық, ұйымдастырушылық және педагогикалық элементтерді қамтитын тұтас құрылым ретінде қарастыруға мүмкіндік беретін жүйелік тәсіл.

Бұл әдістерді қолдану цифрлық трансформация процестерін кешенді түсінуді қамтамасыз етті және Қазақстандағы цифрлық білім беру ортасының даму үрдістерін, проблемалары мен перспективаларын анықтауға мүмкіндік берді.

Қазақстан Республикасының жоғары оқу орындарында цифрлық экожүйені дамыту бойынша практикалық ұсынымдар

Қазақстан Республикасының жоғары оқу орындарында цифрлық экожүйені дамыту стратегиялық жоспарлауды, инфрақұрылымды жаңғыртуды, цифрлық құзыреттерді арттыруды және институционалдық транс-

формацияны қамтитын жүйелі тәсілді талап етеді. Жоғары білім беруде цифрлық трансформациялаудың бірыңғай ұлттық стратегиясын әзірлеуде тұрақты цифрлық білім беру ортасын қалыптастыруға бағытталған негізгі бағыттар мен ұсыныстар төменде келтірілген:

Жоғары оқу орындарының мақсаттарын, кезеңдерін, тиімділік көрсеткіштерін және цифрландыру қағидаларын біріктіретін келісілген стратегиялық құжат жасау қажет. Мұндай стратегия қолжетімділік пен тұрақтылық мәселелерін қоса алғанда, әлемдік үрдістер мен қазақстандық ерекшеліктерді де ескеруі тиіс

Жоғары оқу орындарының цифрлық инфрақұрылымын құру және дамыту

* Тұрақты интернет-қолжетімділікті қамтамасыз ету.

* Деректер базасын қорғау. Сандық платформаларды біріктіру және стандарттау

* Бірыңғай интеграцияланған LMS енгізу (мысалы, Moodle, Canvas, OpenEdx).

* Студенттердің мониторингі, есеп беруі және цифрлық бейіндері үшін Ұлттық EPVO жүйесін (жоғары білімнің бірыңғай кеңістігі) пайдалану.

Оқытушылар мен студенттердің цифрлық құзыреттіліктерін дамыту EdTech, AI, цифрлық педагогика бойынша біліктілікті арттыру курстарын құру.

* Цифрлық дағдыларды сертификаттау жүйесін енгізу.

* Халықаралық сарапшылармен тұрақты тренингтер мен мастер-кластар өткізу. Цифрлық білім беру контентін әзірлеу және енгізу

* Оқытушыларды онлайн-курстарды, гибридті модульдерді, VR/AR-модельдеулерді әзірлеуге ынталандыру.

* Пәнаралық цифрлық оқулықтар мен бейне сабақтарды құруда ЖОО-ларды қолдау.

* Халықаралық платформалармен ынтымақтастық (Coursera, FutureLearn, Khan Academy).

Оқыту мен басқаруда интеллектуалды технологияларды қолдану

* Үлгерімді бақылау және артта қалған студенттерді ерте анықтау үшін Learning Analytics енгізу.

* Білім беру траекторияларын жекелендіру үшін ұсыныстар мен AI жүйелерін пайдалану.

* Чат-боттарды, автоматтандырылған көмекшілерді және сандық тьюторларды қолдану. EdTech-компаниялармен және халықаралық ұйымдармен серіктестікті дамыту

* Білім беруді цифрландыру жөніндегі халықаралық консорциумдарға қатысу.

* Жаһандық университеттермен пилоттық жобаларды әзірлеу. Цифрлық инклюзияны және тең қолжетімділікті қамтамасыз ету

* Аз қамтылған студенттерді қолдау: жабдықтар, онлайн оқыту стипендиялары.

* Мүмкіндігі шектеулі жандар үшін жауап беретін цифрлық интерфейстерді құру.

* Көптілді және мәдени-сезімтал мазмұнды әзірлеу.

Білім беру саласындағы заманауи сынқатерлер жоғары оқу орындарында тұрақты және интеграцияланған цифрлық білім беру экожүйесін құруды талап етеді. Экономиканың цифрлық трансформациясы мен жаһандық бәсекелестік жағдайында ең үздік әлемдік тәжірибеге бағдарлану аса маңызды, бұл қолданыстағы цифрлық білім беру экожүйелеріне салыстырмалы талдау жүргізу қажеттігін көрсетеді.

Нәтижелер

Жүргізілген талдау нәтижесінде Қазақстанның жоғары білім беру жүйесіндегі цифрлық трансформацияның ағымдағы жай-күйін анықтауға және негізгі үрдістерді анықтауға мүмкіндік берді. Жоғары оқу орындарының цифрлық жетілу деңгейі цифрлық білім беру экожүйелерін енгізгеннен кейінгі негізгі жетістіктері дамудың перспективалық бағыттарына айналды. Салыстырмалы талдау көрсеткендей, Назарбаев Университеті мен Astana IT University цифрлық жетілудің ең жоғары деңгейіне қол жеткізді (бес балдық шкала бойынша 4,8-5,0 балл). Satbayev University және Әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті цифрлық технологиялары жоғары, бірақ біркелкі емес даму деңгейін көрсетеді (4,3-4,6).

Негізгі жетістіктер.

* заманауи LMS (Canvas, Moodle, Platonus) енгізу;

* инфрақұрылым мен киберқауіпсіздік жүйелерін дамыту;

* оқу процесіне VR/AR және аналитикалық құралдарды біріктіру;

* халықаралық EdTech-платформаларды белсенді пайдалану (Coursera, EdX, Bilimland).

Проблемалық аймақтар.

* өңірлік және елордалық жоғары оқу орындары арасындағы цифрлық теңсіздік;

* оқытушылардың цифрлық құзыреттіліктерінің жеткіліксіз деңгейі;

* инфрақұрылымдық шешімдердің фрагменттілігі және жоғары оқу орындары арасындағы LMS төмен интеграциясы;

* деректерге негізделген шешімдерді әлсіз аналитикалық қолдау.

Дамудың перспективалық бағыттары.

* жоғары білім берудің бірыңғай цифрлық кеңістігін құру;

* білім беру қызметтерінің цифрлық инклюзиясы мен қолжетімділігін арттыру;

* зияткерлік технологияларды дамыту (AI, Learning Analytics);

* цифрлық білім беру саласындағы халықаралық ынтымақтастықты күшейту. Алынған нәтижелер білім берудің цифрлық экожүйесін қалыптастыруға, Қазақстанда жоғары білім беруді цифрландырудың бірыңғай ұлттық стратегиясын әзірлеу қажеттігін растайды.

Қорытынды

Цифрлық білім беру экожүйесі-бұл ақпараттық технологиялар, білім беру процестері мен институционалдық механизмдер біріктірілген динамикалық, көп деңгейлі жүйе. Қазақстан жағдайында жоғары білімнің цифрлық трансформациясы оң динамиканы көрсетеді, алайда, барлық мүдделі тараптардың – мемлекеттің, жоғары оқу орындарының, оқытушылар мен студенттердің күш-жігерін одан әрі үйлестіруді талап етеді. Әлемдік тәжірибе көрсеткендей, цифрлық экожүйені табысты енгізу тұрақты инфрақұрылым, икемді білім беру саясаты және білім алушылардың қажеттіліктеріне бағдарланған жағдайда мүмкін болады. Қазақстанда цифрлық білім беру ортасын дамыту перспективалары цифрлық ресурстарға қолжетімділікті кеңейтумен, білім беру процесіне қатысушылардың цифрлық құзыреттілігін арттырумен және инновациялық педагогикалық модельдерді енгізумен байланысты. Тиімді модельді қалыптастыру үшін білім беру мекемелері ішіндегі цифрлық ресурстарға қол жеткізуді ғана емес, сонымен қатар, инфрақұрылымды, кадрларды, саясатты және цифрлық мәдениетті қамтитын тұрақты, өзара байланысты экожүйені дамытуды қамтамасыз ету қажет. Осылайша, Қазақстандағы білім берудің цифрлық экожүйесі білім берудің цифрлық орталарын (экожүйелерін) бірыңғай стратегиялық басқарылатын желіге біріктіре отырып, жүйелілік, икемділік және ашықтық қағидаларына сүйенуге тиіс. Бұл білім берудің тұрақты дамуына, цифрлық дәуірде оның қолжетімділігі мен сапасын арттыруға негіз болады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Государственная программа «Цифровой Казахстан» 2018-2022. URL: https://digitalkazakhstan.kz
2. Национальный проект «Образованная нация» / Министерство образования и науки РК. Астана, 2021.
3. Министерство науки и высшего образования РК. Стратегия цифровой трансформации 2023-2025. Алматы, 2023.
4. Назарбаев Университет. Годовой отчет по цифровизации, 2022.
5. Astana IT University. Внедрение цифровых технологий, 2023.
6. Казахский национальный университет имени аль-Фараби. Цифровой кампус, 2022.
7. Университет Нархоз. Отчет о цифровизации, 2023.
8. Международный университет информационных технологий. Партнерские программы, 2022.
9. Рекомендации по развитию цифровой экосистемы образования в РК / Министерство науки и высшего образования РК. Астана, 2024.

Цифровая экосистема образования в контексте в Казахстане

[1]*СМАХАНОВА Айжан Корганбековна, *докторант, Smakhanova84@mail.ru,*
[1]АБИЛЬДАЕВА Жансая Тенеловна, *докторант, zhansaya_a@mail.ru,*
[1]УСКЕНБАЕВА Раиса Кабиевна, *д.т.н., профессор,*
[2]CHO Young-Im, *PhD, профессор, yicho@gachon.ac.kr,*
[1]КАЛЬПЕЕВА Жулдыз Бейшеналиевна, *PhD, ассоциированный профессор, z.kalpeyeva@satbayev.university,*
[1]НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», ул. Сатпаева, 22а, Алматы, Казахстан,
[2]Университет Гачон, Сеул, Республика Корея,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В условиях стремительного развития цифровых технологий и глобальных трансформаций образовательных систем концепция цифровой экосистемы образования приобретает особую актуальность. В работе рассматриваются понятие и структура циф-*

ровой образовательной экосистемы с акцентом на высшее образование в Казахстане. Проанализированы теоретические подходы к формированию цифровой экосистемы, а также обобщён мировой опыт её реализации в университетской среде. Особое внимание уделено текущему состоянию и перспективам развития цифровой образовательной среды в Казахстане, включая использование онлайн-платформ, цифровых сервисов и политических инициатив в сфере цифровизации. Предложены практические рекомендации по развитию цифровых платформ, инфраструктуры и компетенций. Представлены сравнительные данные по уровню цифровой зрелости ведущих казахстанских университетов. Результаты анализа позволяют выявить ключевые вызовы и возможности, стоящие перед системой высшего образования в условиях цифровой трансформации.

Ключевые слова: *цифровая экосистема, высшее образование, цифровая трансформация, Казахстан, EdTech, LMS, государственная политика, цифровая инфраструктура.*

Digital Education Ecosystem in the Context of Kazakhstan

[1]***SMAKHANOVA Aizhan,** Doctoral Student, Smakhanova84@mail.ru,*
[1]***ABILDAEVA Zhansaya,** Doctoral Student, zhansaya_a @mail.ru,*
[1]***USKENBAEVA Raisa,** Dr. of Tech. Sc., Professor,*
[2]***CHO Young-Im,** PhD, Professor, yicho@gachon.ac.kr,*
[1]***KALPEYEVA Zhuldyz,** PhD, Associate Professor, z.kalpeyeva@satbayev.university,*
[1]NPJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev», 22a Satpayev Street, Almaty, Kazakhstan,
[2]Gachon University, Seoul, Republic of Korea,
**corresponding author.*

***Abstract.** In the context of the rapid development of digital technologies and global transformations of educational systems, the concept of a digital educational ecosystem is becoming increasingly relevant. This paper explores the concept and structure of a digital educational ecosystem, with a focus on higher education in Kazakhstan. It analyzes theoretical approaches to the formation of a digital ecosystem and summarizes global experiences in implementing it in the university environment. The paper also focuses on the current state and prospects for the development of the digital educational environment in Kazakhstan, including the use of online platforms, digital services, and policy initiatives in the field of digitalization. The paper provides practical recommendations for the development of digital platforms, infrastructure, and competencies. Comparative data on the level of digital maturity of leading Kazakhstani universities is presented. The results of the analysis allow us to identify the key challenges and opportunities facing the higher education system in the context of digital transformation.*

***Keywords:** digital ecosystem, higher education, digital transformation, Kazakhstan, EdTech, learning analytics, digital infrastructure, global practices.*

REFERENCES

1. Gosudarstvennaya programma «Tsifrovoi Kazakhstan» 2018-2022. https://digitalkazakhstan.kz
2. Natsional'nyi proekt «Obrazovannaya natsiya». Ministerstvo obrazovaniya i nauki RK, 2021.
3. Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya RK. Strategiya tsifrovoi transformatsii 2023-2025. Almaty, 2023.
4. Nazarbaev Universitet. Godovoi otchet po tsifrovizatsii, 2022.
5. Astana IT University. Vnedrenie tsifrovykh tekhnologii, 2023.
6. Kazakhskii natsional'nyi universitet im. al'-Farabi. Tsifrovoi kampus, 2022.
7. Universitet Narhoz. Otchet o tsifrovizatsii, 2023.
8. Mezhdunarodnyi universitet informatsionnykh tekhnologii. Partnerskie programmy, 2022.
9. Rekomendatsii po razvitiyu tsifrovoi ekosistemy obrazovaniya v RK. Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya RK, 2024.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_374 ӘОЖ 004.93

Нейрондық желілер негізінде окклюзиялы бет-әлпетті тану әдістерін салыстырмалы талдау

[1]МУТАЛОВА Жазира Сатхановна, *докторант, zhazira77@mail.ru,*
[1]ШАУШЕНОВА Анаргул Гимрановна, *т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, shaushenova_78@mail.ru,*
[1]*НУРПЕЙСОВА Ардак Алданышовна, *PhD, қауымдастырылған профессор м.а., naa11317@mail.ru,*
[1]АЙНАГУЛОВА Алия Сиюндуковна, *т.ғ.к., аға оқытушы, a.ainagulova@mail.ru,*
[2]ОНГАРБАЕВА Марал Буркитбаевна, *п.ғ.к., қауымдастырылған профессор, mongarb.65@gmail.com,*
[1]«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Жеңіс даңғылы, 62, Астана, Қазақстан,
[2]Шерхан Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті, Желтоқсан көшесі, 69Б, Тараз, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Нақты жағдайда сәйкестендіру сапасына жарық жағдайы, бет әлпетінің өзгеруі, кеңістіктегі орналасуы және басқа да әртүрлі сыртқы факторлар әсер етеді, бұл кескінді өңдеу процесін одан әрі қиындата түседі. Қазіргі уақытта бұл саладағы зерттеулер екі негізгі бағыт бойынша дамып келеді. Біріншісі – ішінара және толық окклюзияға төзімділікті арттыру мақсатында бет-әлпетті тану алгоритмдерін жетілдіру. Екінші бағыт – кескінді қайта құру технологияларын қолдану арқылы жоғалған бет аймақтарын қалпына келтіріп, кейін тануды жүзеге асыру. Мақалада окклюзияға ұшыраған беттерді тануға арналған қолданыстағы мәліметтер жиынтықтары мен оларды өңдеу әдістері талданып, бет-әлпетті тану тәсілдері мен нейрондық желілерге негізделген окклюзияны өңдеу әдістері салыстырылады. Терең оқытуға негізделген заманауи шешімдер мен дәстүрлі әдістер салыстырылып, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері сарапталады. Self-Attention механизміне негізделген модель кескіннің жалпы бейнесін белсенді түрде ескеру арқылы беттің ішінара окклюзиясына төзімділікті арттыра алатыны көрсетіледі. Қорытынды бөлімде окклюзия жағдайында бет-әлпетті тану технологияларын дамытудың негізгі мәселелері, шешілмеген міндеттері мен перспективалық бағыттары қарастырылады.*

Кілт сөздер: *бетті тану, терең оқыту, белгілерді алу, окклюзия, бетті сәйкестендіру.*

Кіріспе. Байланыссыз және қолдануға ыңғайлы биометриялық технология бола отырып, бетті тану қауіпсіздік, қаржы, тұлғаны сәйкестендіру және басқа салаларда кеңінен қолданылады. Қоғамдық орындардағы бейнебақылау әлеуметтік қауіпсіздік пен заңдардың сақталуына сенімді кепілдік береді. Бетті тану технологиясының үздіксіз дамуына қарамастан, шешуді қажет ететін өзекті мәселе болып қала береді. Алайда, бет окклюзиясының болуы негізгі белгілердің жоғалуына әкелуі мүмкін, бұл тану дәлдігін айтарлықтай төмендетеді және осы саладағы ең қиын міндеттердің бірі болып қала береді. Окклюзия жағдайында бетті тану алгоритмдерінің сенімділігін қалай арттыруға болатындығы туралы мәселе бетті тануды зерттеудің маңызды тақырыбына айналды.

Әдістер мен материалдар. Соңғы жылдары бетті танудың кейбір мәселелеріне көп көңіл бөлінді, мысалы, тану, теңестіру, танудағы қайта қалпына келтіру және топтастыру. Бет бейнесін тану табиғи ортада күрделі, өйткені, жарықтың өзгеруі, позалар, ішінара окклюзия сияқты сыртқы факторлар әсер етеді. Адамның бетінде көзілдірік, маскалар, шарфтар сияқты басқа заттар болған жағдайда бетті тану жүйелерінің тану тиімділігі төмендейді, бұл жалпы бетті тану дәлдігін айтарлықтай төмендетеді. Сондықтан, шектеулі аймақтардағы кедергілерді азайту бетті тану саласындағы өзекті мәселелердің

бірі болып табылады. Қазіргі уақытта CASIA-Webface, VGGFace2, MS-Celeb-LM, Glint360K, LFW, MegaFace сияқты бет деректерінің жиынтығы кеңінен қолданылады. Нейрондық желілердің қарқынды дамуымен зерттеушілер белгілерді сипаттау үшін кең мүмкіндіктері бар конволюциялық нейрондық желілерді (CNN) пайдалана бастады. Бетті танудың дәстүрлі әдістерін ауыстыру және танудың дәлдігін, жылдамдығын және бейімделуін айтарлықтай жақсарту – заманауи биометриялық жүйелердің басты мақсаттарының бірі болып табылады. CNN Cascade – конволюциялық нейрондық желіге негізделген Adaboost бетті тану әдісі. Дәстүрлі әдістермен салыстырғанда CNN Cascade дәстүрлі әдістерге қарағанда жоғары анықтау дәлдігі мен жылдамдығын ұсынады. CNN негізіндегі бетті тану әдісі бетті тану дәлдігін жақсартқанымен, шектеусіз сценарийлерде бетті анықтау әлі де қиындық туғызады.

Оқыту процесінде жасалған кескіннің сапасын бағалау үшін VID (бастапқы жаңа қашықтық), PSNER (ең жоғары сигнал/шу қатынасы) және CSIM (құрылымдық ұқсастық индексі) сияқты көрсеткіштер пайдаланылды. Тұлғаның әртүрлі контекстік қасиеттерін зерттеу арқылы окклюзияға төзімділікті арттыру үшін көп контекстік назар аударуға негізделген модель ұсынылған. Бұл әдіс окклюзия мәселелерін тиімді шешу үшін терең оқыту технологиясын Self-Attention механизмімен біріктірген [1].

SparkAR Studio негізіндегі бетке кедергісіз қол жеткізу кезінде деректер жиынындағы окклюзия жағдайларын жақсарту үшін бет кескініндегі бет аймағына салынған жасанды масканы біріктірді. Бетке тән 106 нүктелерді және PRNet 3D бетті қалпына келтіру әдісін қолданатын көптеген қараңғыланған бет кескіндерін синтездеу үшін FMA-3D модулін ұсынды. Dlip, Anwar және т.б. кітапханасына негізделген маска киюге арналған бағдарлама әзірледі. MaskThe-Face – ашық бастапқы кодты бет окклюзиясы құралы болып табылады, онда әр түрлі санаттарды (көз, мұрын, аксессуарлар және т.б.) бұғаттауға мүмкіндік беретін әдіс ұсынылған [2].

Аймақтық деректерді кеңейту әдісін қолдана отырып, кез-келген желілік архитектурада тиімді пайдалануға болатын Cut, Random Erase, Cutmix және DropBlock сияқты технологиялар қолданылады [3]. MCPRL-Маска нақты маскалар туралы мәліметтер жиынтығынан тұрады және ол 14023 окклюзияланған бейнені қамтиды. FMA-3D-мен салыстырғанда, MaskOut-пен байланысты жад пен оқытуға кететін шығындар едәуір аз [4].

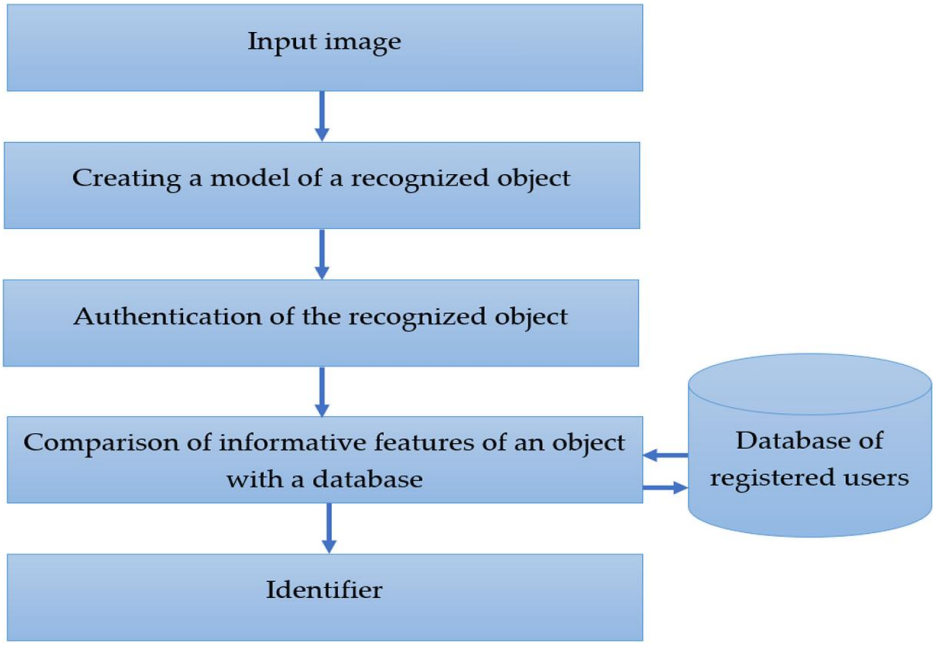
Нәтижелер. Құпия сөз аутентификациясы сияқты дәстүрлі жеке сәйкестендіру әдістерімен салыстырғанда, бет-әлпетті тану – адамның қайталанбас ерекшеліктерін пайдалану арқылы жалған жасау қиын әрі қауіпсіздіктің жоғары деңгейін қамтамасыз ететін әдіс [5]. Бетті тану технологиясы негізінен жеке тұлғаны сәйкестендіруді қамтамасыз ету үшін кескіндерді өңдеу, кескіндерін салыстыру арқылы жүзеге асады. Автоматтандыру мен алгоритмдеу – бетті тану технологиясының дамуындағы маңызды бетбұрыс болды. Компьютерлік көру мен үлгіні тану алгоритмдері бетті тану үдерісінде шешуші рөл атқара бастады.

Бетті тану жүйесі ішінара көрінетін бет ерекшеліктеріне бағытталған озық алгоритмдер арқылы окклюзияларды өңдейді және жабылған аймақтарды қалпына келтіруге тырысады. Беттерді бір-бірінің үстіне қабаттастыру кезінде, тек қоршаған контекстке сүйеніп, адамның нақты тұлғасын анықтау қиынға соғады. Сондықтан жүйенің сезімталдығын арттыру үшін беттің көрінетін бөліктерін мұқият зерттеу қажет. Осыған байланысты, негізгі белгілер картасы негізінде беттің көрінетін бөлігін тануды жақсартатын, сонымен қатар, сәйкестендіруге қажетті белгілері жоқ беттер мен бет-әлпетті тану үдерісін жеңілдетуге арналған зейінді күшейту желісі (attention enhancement network) ұсынылады. Құрылым 1-суретте көрсетілген.

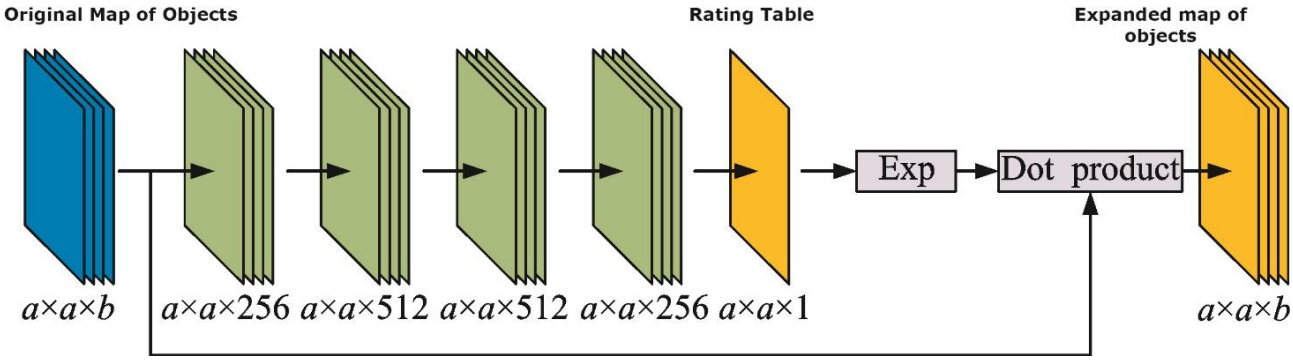
2-суретте көрсетілгендей, желі төрт каскадталған конволюциялық қабаттан тұрады. Бірінші және төртінші конволюциялық қабаттар жиектерді толтыру үшін 256 өлшемді 3×3 ядроларды қолданады, ал екінші және үшінші қабаттар 512 өлшемді 3×3 ядроларды пайдаланады. Жіктеу және толық байланыстырылған қабат арқылы тану процесінен кейін, бастапқы белгілер картасымен бірдей өлшемдегі бағалау картасы алынады. Бұл бағалау картасында назар аударудың артқан аймақтары 1 мәнімен, ал қалған барлық аймақтар 0 мәнімен белгіленеді. Бағалау картасы экспоненциалды е-функциясы арқылы түрлендіріледі, нәтижесінде мәндер диапазоны [0, 1] аралығынан [1, e] аралығына дейін өзгереді. Осыдан кейін бұл бағалау картасы бастапқы белгілер картасының әр арнасына нүктелік көбейту арқылы қолданылып, жақсартылған белгілер картасы алынады [6].

Қазіргі уақытта окклюзияланған беттерді тануға арналған MFDD, RMFRD, SMFRD және FaceOcc деректер жиынтықтары ұсынылған.

MFDD – бетті туралау әдісімен алдын ала өңделген шағын көлемді деректер жиынтығы. Әрбір тұлға үшін орта есеппен 5 суреттен тұрады, ал кескін өлшемі – 160×160×3. Бұл деректер жиынтығы бетперде киген бетті тану модельдерін оқытуға, сондай-ақ, бет тануға қатысты кейінгі тапсырмаларды орындауға қолданылады. Сонымен қатар, ол адамның бетперде кигенін анықтау мақ-



1-сурет – Бетті тану процесі



2-сурет – Self-Attention желісі

сатында да пайдаланылуы мүмкін.

RMFRD деректер жиынтығы – бірдей сәйкестендіру деректері бар 3589 жұп және әртүрлі сәйкестендіру деректері бар тағы 3589 жұптан тұратын 7178 маскаланған және маскасыз бейнелер жұбына бөлінген. Бұл – бетперде киген бетті тануға арналған әлемдегі алғашқы ашық қолжетімді деректер жиынтығы болып табылады [7]. SMFRD – деректерді өңдеу тиімділігін арттыру үшін Dlib кітапханасына негізделген автоматты бетперде кию құралы. Бұл жасанды бет маскалары деректер жиынтығында 16817 тұлғаның 536721 бет бейнесі қамтылған. Қазіргі уақытта бұл құрал Casia-WebFace, LFW, CFP-FP және AgeDB-30 сияқты танымал бет деректер жиынтықтарында бет бейнелерін маскалау үшін қолданылады. Ал беттерді сегментациялауға арналған қолданыстағы FaceOcc деректер жиынтығы кейбір шектеулерге ие. Атап айтқанда, деректер санының аздығы, окклюзия түрлерінің шектеулілігі, төмен дәлдік және аннотациялардың нақтылығының жеткіліксіздігі сияқты мәселелер деректерге негізделген алгоритмдердің өнімділігін төмендетеді [8]. Бұл талаптарға ең жақын келетін жиынтық – CelebAMask-HQ, алайда, оның көлемі шектеулі. Осы шектеулерді ескере отырып, күннен қорғайтын көзілдірік, бетперде және басқа да окклюзия түрлері бейнеленген 30000-нан астам суретті қамтитын жаңа, жоғары сапалы бет окклюзиясы деректер жиынтығы ұсынылған [9]. Бұл – қазіргі таңда ең үлкен және ең толық жинақтардың бірі болып саналады (3-сурет).

Терең оқытуға негізделген бет ерекшеліктерінің дұрыстығын анықтау әдісі – бетәлпеттің көші-қоны мен бірігуін зерттеу,

3-сурет – Окклюзиямен бет-әлпетті тануға арналған мәліметтер жиынтығы

жергілікті белгілерді талдау, Self-Attention механизмдерін пайдалану, инфрақызыл түсіру технологиясымен үйлестіре отырып, жоғалту функцияларын (loss function) оңтайландыру арқылы негізгі бет ерекшеліктерін жақсартуға мүмкіндік береді. Бұл – бетті қысқа мерзімде қалпына келтіру, оны күңгірттеу және окклюзияның әсерін басу немесе жою мүмкіндігін арттырады. Терең оқыту әдістері алдымен беттегі окклюзия аймағын анықтап, оны жояды. Содан кейін көз және маңдай тереңдігіне тән белгілерді алу үшін FG-16, AlexNet және ResNet-50 сияқты алдын ала оқытылған үш модель қолданылады. Соңында, жіктеу үшін көпқабатты қабылдау (multi-layer perception) әдісі пайдаланылады. Окклюзия жағдайында заманауи бет тану әдістері конволюциялық нейрондық желілерді, Self-Attention механизмдерін және маска генераторларын біріктіріп қолданады. Бірқатар тәсілдер окклюзия аймақтарын бөлектейтін және тіпті айтарлықтай қабаттасу жағдайында да сенімді бет белгілерін алуға мүмкіндік беретін арнайы желілік архитектураларға негізделген. Алайда, негізгі мәселе – конволюциялық қабаттарда алынған белгілерді сақтау және олардың арасындағы ұқсастықтарды есептеуге кететін жоғары есептеу ресурстары болып қала береді [10].

Басқа әдістерде конволюциялық модульдер Self-Attention механизмдерімен біріктіріледі. Бұл тәсіл жергілікті және жаһандық белгілерді қатар қолдануға және ішінара қабаттасқан кескіндерді тиімдірек өңдеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, есептеу шығындарының шамалы ғана артуымен ерекшелену сапасын жақсартатын, окклюзиясыз бет аймақтарына қосарланған өзіндік назар аудару (dual self-attention) желілері қолданылады.

Сондай-ақ, бетперделерді бейімдеу мен қабаттасқан аймақтарды дәлірек локализациялауға және маңызды белгілерді күшейтуге мүмкіндік беретін аймақтық сөздік (region dictionary) құру стратегиялары да пайдаланылады. Self-Attention механизмдерін жеңіл салмақты желілерге біріктіру модельдің күрделілігін азайтып, кескінді өңдеу жылдамдығын арттыра отырып, тану дәлдігін де жақсартады.

ResNet-50 желісі белгілерді терең оқшаулау арқылы айрықша бет белгілерін жасау үшін қолданылады және оны Евклид қашықтығы бойынша орташа мәндер арқылы кескіндерді салыстыруға пайдалануға болады. Кіріс дерек – өлшемі 256×256×3 болатын кескін. ResNet-50 құрамындағы қалдық блок өзіндік назар аудару (Self-Attention) модулімен біріктіріліп, салыстырмалы позициялық кодтау қолданылады. Алгоритмнің басты артықшылығы – ұзақ мерзімді тәуелділіктерді сақтау, жергілікті және жаһандық ақпаратты жинау арқылы модельдің өнімділігі мен сенімділігін арттыру.

Окклюзияға төзімді бет тану алгоритмі өзіндік назар аудару механизмін маска сөздігімен біріктіреді және изометриялық кездейсоқ үлгілерді жасайды. Бұл тәсіл қараңғы аймақтарда терең оқытуға негізделген бет ақпаратын қалпына келтірудің тиімділігін арттырады.

Қазіргі әдістер кескіндерді синтездеу және жетіспейтін бет фрагменттерін қалпына келтіру үшін генеративті нейрондық желілерді (GAN) белсенді қолданады. Терең оқытуға негізделген бет кескінін қалпына келтірудің заманауи тәсілдері тұрақты нәтижелер көрсетіп, толық кескіндерді тиімді генерациялауға мүмкіндік береді. Дегенмен, ақпараттың толық жоғалуын болдырмау әлі де мүмкін болмай отыр. Алғашқы әдістер тек беттегі жоғалған бөліктерді ішінара қалпына келтіруге мүмкіндік берсе, қазіргі алгоритм-

дер күрделі текстураларды да өңдеп, масштабты бұзылыстары бар кескіндерді қалпына келтіре алады. Алайда, нәтиженің дәлдігі мен шынайылығын арттыру үшін қосымша зерттеулер қажет.

GAN желілік моделінің артықшылығы ең алдымен нақты нәтижелерде көрінеді. Әсіресе кейбір кескіндерді өңдеу кезінде GAN басқа алгоритмдерге қарағанда айқынырақ және сапалы кескіндер жасай алады. Сонымен қатар, оқу процесінде Марков тізбектерін қайта іріктеу немесе логикалық қорытынды жасау үшін пайдаланудың қажеті жоқ, бұл ықтималдықты есептеудің ең күрделі мәселелерін толығымен болдырмайды және үлгілерді жасау үшін есептеу шығындарын айтарлықтай азайтады. Сонымен қатар, GAN шеңбері кез-келген генераторлық желіні оқытуға мүмкіндік береді. Алдын-ала бекітілген функционалды әдістерге сүйенсеңіз де, кез келген генератор мен дискриминатор пайдалы болып, оларды алдын-ала модельдеудің қажеті жоқ. Бұл әдістерді қолдану икемді әрі инновациялық шешімдерге жол ашады. Ақырында, көптеген зерттеу эксперименттері GAN көмегімен алынған үлгілердің дәстүрлі әдістерге қарағанда сапасы жоғары екенін дәлелдеді.

Талқылау. Бұл тек сәйкестендіру дәлдігін сақтай отырып тиімді маскировкаға (жабуға) қол жеткізу сияқты техникалық мәселелерді туындатумен шектелмейді, сонымен қатар, құпиялылық пен әлеуметтік этикаға қатысты терең мәселелерді де көтереді. Техникалық тұрғыдан, бет маскировкасы – тану дәлдігі мен жеке құпиялылық арасындағы тепе-теңдікті сақтауды талап етеді. Бұл, бір жағынан, бет ерекшеліктерін нақты анықтай алатын алгоритмдерді қажет етсе, екінші жағынан – қажет болған жағдайда оларды бұлыңғырлатуға немесе жасыруға мүмкіндік беру арқылы жеке мәліметтердің сыртқа шығуына жол бермеуі тиіс.

Терең оқыту дәуірінің басталуы бетті тану технологиясында үлкен деректердің маңызын ерекше айқындады. Деректердің сапасы, әртүрлілігі мен көлемі – модель өнімділігіне тікелей әсер етеді. Осыған байланысты, деректерді тиімді жинау, өңдеу және пайдалану технологияның болашақ дамуы үшін аса маңызды болады. Технологиялар дами түскен сайын, құпиялылық пен этика мәселелері де өзекті бола түсуде. Бетті тану технологиясының болашағы – техникалық сипаттамаларды жетілдіре отырып, пайдаланушылардың жеке өмірін қорғауды қамтамасыз етуде. Алдағы уақытта технологиялық инновациялар тек алгоритмдердің өнімділігін арттыруға ғана емес, сонымен қатар, этика мен құпиялылық қағидаттарына сай келетін қолданбалы жүйелерді дамытуға бағытталады. Болашақта бетті тану технологиясын жасанды интеллект, заттар интернеті (IoT) және мобильді есептеу құрылғыларымен интеграциялау мүмкін болады. Мұндай интеграция тек технологиялардың дәлдігін арттырып қана қоймай, олардың қолдану аясын да кеңейтеді.

Қорытынды. Бетті тану әдістері мен нейрондық желілерге негізделген тәсілдерді салыстырмалы түрде талдау бірнеше маңызды қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Біріншіден, Self-Attention механизміне негізделген модельдер кескіннің жаһандық контексін ескеру арқылы беттің ішінара жабылған жағдайларына төзімділікті арттырады. Екіншіден, көпмодальды және екі сатылы белгілерді шығару әдістері тіпті қараңғы ортада да нысандарды жоғары сапада анықтауға мүмкіндік береді. Тағы бір маңызды аспект – модельдердің тиімділігін бағалауға мүмкіндік беретін MFDD, RMFRD, SMFRD және FaceOcc сияқты окклюзияланған бет бейнелерінен тұратын арнайы деректер жиынтықтарының болуы. Алайда, қол жеткізілген нәтижелерге қарамастан, қазіргі әдістердің шектеулері де бар. Олардың қатарында – жоғары есептеу күрделілігі мен үлкен көлемдегі құпия деректерді өңдеу қажеттілігі. Жалпы алғанда, окклюзияны азайту және оны тану әдістерін интеграциялау – әрі қарайғы ғылыми зерттеулер мен практикалық қолдану үшін перспективалы бағыт болып қала береді.

Бұл зерттеуді Ғылым және Жоғары Білім Министрлігінің Ғылым Комитеті қаржыландырды (AP23486538 «Жасанды интеллект негізінде бейне ағындарындағы кескіндерді тану жүйесін зерттеу және әзірлеу»).

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. L. Xu, H. Zhang, J. Raitoharju, and M. Gabbouj, Unsupervised facial image de-occlusion with optimized deep generative models. in Proc. 8th Int. Conf. Image Process. Theory, Tools Appl. (IPTA), Xian, China, Nov. 2018, pp. 1-6.
2. Y. Lu, S. Wang, and W. Zhao, Facial expression recognition based on discrete separable shearlet transform

and feature selection, Algorithms, vol. 12, no. 1, pp. 1-14, Jan. 2019.
3. Y. Chen et al. Mobile-former: bridging MobileNet and transformer, in Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vision and Pattern Recognit. IEEE pp. 5270-5279 (2022).
4. Z. Lyu et al. A GPU-free real-time object detection method for apron surveillance video based on quantized MobileNet-SSD IET Image Process. 16 (8), 2196-2209 (2022).
5. P.S.P. Kavyashree and M. El-Sharkawy. Compressed MobileNet v3: a light weight variant for resource-constrained platforms, in Proc. IEEE 11th Annu. Comput. Commun. Workshop and Conf. (CCWC), pp. 0104-0107 (2021).
6. H. Shi, Q. Zhou, and Y. Ni, DPNET: dual-path network for efficient object detection with lightweight self-attention, in Proc. IEEE Int. Conf. Image Process. (ICIP), pp. 771-775 (2022).
7. L. Jia et al., MobileNet-CA-YOLO: an improved YOLOv7 based on the MobileNetV3 and attention mechanism for rice pests and diseases detection, Agriculture 13 (7), 1285 (2023).
8. C.H. Lee et al., MaskGAN: towards diverse and interactive facial image manipulation, in Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vision and Pattern Recognit., pp. 5549-5558 (2020).
9. Du, S. And Zhang, L., 2023, October. FRNet: Improving Face De-occlusion via Feature Reconstruction. In Chinese Conference on Pattern Recognition and Computer Vision (PRCV) (pp. 313-326). Singapore: Springer Nature Singapore.
10. Mensah, J.A., Nortey, E.N., Ocran, E., Iddi, S. And Asiedu, L., 2024. De-occlusion and recognition of frontal face images: a comparative study of multiple imputation methods. Journal of Big Data, 11 (1), p. 60.

Сравнительный анализ методов распознавания лиц с окклюзиями на основе нейронных сетей

[1]МУТАЛОВА Жазира Сатхановна, *докторант, zhazira77@mail.ru,*
[1]ШАУШЕНОВА Анаргул Гимрановна, *к.т.н., ассоциированный профессор, shaushenova_78@mail.ru,*
[1]*НУРПЕЙСОВА Ардак Алданышовна, *PhD, и.о. ассоциированного профессора, naa11317@mail.ru,*
[1]АЙНАГУЛОВА Алия Сиюндуковна, *к.т.н., старший преподаватель, a.ainagulova@mail.ru,*
[2]ОНГАРБАЕВА Марал Буркитбаевна, *к.п.н., ассоциированный профессор, mongarb.65@gmail.com,*
[1]НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», пр. Женис, 62, Астана, Казахстан,
[2]Международный Таразский университет имени Шерхана Муртазы, ул. Желтоксан, 69Б, Тараз, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В реальных условиях на качество идентификации влияют освещенность, изменения лицевого выражения, пространственное расположение и другие внешние факторы, что усложняет процесс обработки изображения. В настоящее время исследования в этой области развиваются по двум основным направлениям. Первое – это совершенствование алгоритмов распознавания лиц с целью повышения устойчивости к частичным и полным окклюзиям. Второе направление – восстановление утраченных областей лица с использованием технологий реконструкции изображения, с последующим выполнением процедуры распознавания. В статье анализируются существующие наборы данных и методы обработки лиц с окклюзиями, сравниваются подходы к распознаванию лиц и методы обработки окклюзий, основанные на нейронных сетях. Рассматриваются современные решения на основе глубокого обучения и традиционные методы, выявляются их преимущества и недостатки. Показано, что модель, основанная на механизме Self-Attention, способна повысить устойчивость к частичной окклюзии лица за счёт активного учета общей картины изображения. В заключение рассматриваются ключевые проблемы, нерешенные задачи и перспективные направления развития технологий распознавания лиц в условиях окклюзии.*

Ключевые слова: *распознавание лиц, глубокое обучение, извлечение признаков, окклюзия, идентификация лица.*

Comparative Analysis of Neural Network-Based Methods for Occluded Face Recognition

[1]***MUTALOVA Zhazira,*** *Doctoral Student, zhazira77@mail.ru,*
[1]***SHAUSHENOVA Anargul,*** *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, shaushenova_78@mail.ru,*
[1]**NURPEISOVA Ardak,*** *PhD, Acting Associate Professor, naa11317@mail.ru,*
[1]***AINAGULOVA Aliya,*** *Cand. of Tech. Sc., Senior Lecturer, a.ainagulova@mail.ru,*
[2]***ONGARBAYEVA Maral,*** *Cand. of Ped. Sc., Associate Professor, mongarb.65@gmail.com,*
[1]NCJSC «S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University», 62 Zhenis Avenue, Astana, Kazakhstan,
[2]Sherkhan Murtaza International Taraz University, 69B Satpayev Street, Taraz, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *In real-world scenarios, the quality of identification is affected by lighting conditions, changes in facial expressions, spatial positioning, and various other external factors, which further complicate the image processing pipeline. Currently, research in this field is advancing along two main directions. The first is improving face recognition algorithms to increase robustness against partial and full occlusions. The second involves using image reconstruction technologies to restore missing facial regions, followed by recognition. The paper analyzes existing datasets and processing methods for occluded faces, comparing face recognition approaches and neural network-based occlusion handling techniques. Modern deep learning-based solutions and traditional methods are compared, highlighting their advantages and disadvantages. It is demonstrated that a model based on the Self-Attention mechanism can enhance robustness to partial facial occlusion by actively considering the overall image context. The conclusion discusses the main challenges, unresolved tasks, and promising directions for the development of face recognition technologies under occlusion conditions.*

Keywords: *face recognition, deep learning, feature extraction, occlusion, face identification.*

REFERENCES

1. L. Xu, H. Zhang, J. Raitoharju, and M. Gabbouj, Unsupervised facial image de-occlusion with optimized deep generative models. in Proc. 8th Int. Conf. Image Process. Theory, Tools Appl. (IPTA), Xian, China, Nov. 2018, pp. 1-6.
2. Y. Lu, S. Wang, and W. Zhao, Facial expression recognition based on discrete separable shearlet transform and feature selection, Algorithms, vol. 12, no. 1, pp. 1-14, Jan. 2019.
3. Y. Chen et al. Mobile-former: bridging MobileNet and transformer, in Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vision and Pattern Recognit. IEEE pp. 5270-5279 (2022).
4. Z. Lyu et al. A GPU-free real-time object detection method for apron surveillance video based on quantized MobileNet-SSD IET Image Process. 16 (8), 2196-2209 (2022).
5. P.S.P. Kavyashree and M. El-Sharkawy. Compressed MobileNet v3: a light weight variant for resource-constrained platforms, in Proc. IEEE 11th Annu. Comput. Commun. Workshop and Conf. (CCWC), pp. 0104-0107 (2021).
6. H. Shi, Q. Zhou, and Y. Ni, DPNET: dual-path network for efficient object detection with lightweight self-attention, in Proc. IEEE Int. Conf. Image Process. (ICIP), pp. 771-775 (2022).
7. L. Jia et al., MobileNet-CA-YOLO: an improved YOLOv7 based on the MobileNetV3 and attention mechanism for rice pests and diseases detection, Agriculture 13 (7), 1285 (2023).
8. C.H. Lee et al., MaskGAN: towards diverse and interactive facial image manipulation, in Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vision and Pattern Recognit., pp. 5549-5558 (2020).
9. Du, S. And Zhang, L., 2023, October. FRNet: Improving Face De-occlusion via Feature Reconstruction. In Chinese Conference on Pattern Recognition and Computer Vision (PRCV) (pp. 313-326). Singapore: Springer Nature Singapore.
10. Mensah, J.A., Nortey, E.N., Ocran, E., Iddi, S. And Asiedu, L., 2024. De-occlusion and recognition of frontal face images: a comparative study of multiple imputation methods. Journal of Big Data, 11 (1), p. 60.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_381 ӘОЖ 004.896

Индустрия 4.0 тұжырымдамасы шеңберінде мехатрондық жүйелерді оқытуда толықтырылған шындық (AR) технологияларын қолдану (Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті тәжірибесі негізінде)

[1]*ТОХМЕТОВА Куралай Муратбековна, *магистр, аға оқытушы, kuralay_tokhmetova@mail.ru,*
[2]АҚҚАЗЫЕВ Бекжан Мерғалиұлы, *магистр, инженер-программист, bekzhan22@gmail.com,*
[1]СҮНДЕТ Гамзат Ернатұлы, *магистр, аға оқытушы, gamzat.kz@mail.ru,*
[1]ЖУМАГУЛОВА Динара Кешубаевна, *магистр, аға оқытушы, appdinara@mail.ru,*
[1]АЛПАНОВА Гаухар Марғұланқызы, *магистр, оқытушы, kuralay_tokhmetova@mail.ru,*
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]«АСЭП» ЖШС, Штурманская көшесі, 19Б, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Нақты жабдық пен цифрлық интерфейстерді біріктіру арқылы инженерлік оқытудың тиімділігін арттыру және өндірістік процестерді визуализациялау кезек күттірмейтін міндет болып табылады. Берілген мақалада мехатрондық жүйелерді оқыту мақсатында Индустрия 4.0 концепциясы аясында Siemens S7-1500 контроллері негізінде өнеркәсіптік жабдықпен визуализация және өзара әрекеттесу үшін кросс-платформалық AR жүйесі әзірленді. Аталған мехатрондық жүйе өнеркәсіптік жабдықтың шынайы аналогы болып табылады. Бұл зерттеуде Festo стендіне толықтырылған шындық (AR) технологиясын енгізудің негізгі мақсаты – өндірістік процестерді визуализациялау және студенттерге/мамандарға интерактивті оқыту ортасын құру болып табылады. Мақалада SNAP7 кітапханасы арқылы Siemens контроллерімен және Festo стендімен AR жүйесінің интеграциясы қарастырылады, сонымен қатар, HMD және HHD типті құрылғыларға арналған AR интерфейстерін әзірлеу қадамдары, пайдаланушының өзара әрекеттесуінің сипаттамасы, бағдарламалық код үзінділері, сондай-ақ, жүйенің эксперименттік сынау нәтижелері келтірілген. Әзірленген AR жүйесі иммерсивті инженерлік білім беруді жүзеге асырудың практикалық негізін жасайды, техникалық процестерді визуалды қабылдаудың тиімділігін арттырады және оны жоғарғы оқу орындарында да, сонымен қатар, кәсіпорындарда да қолдануға болады.*

Кілт сөздер: *Индустрия 4.0, мехатрондық жүйе, өнеркәсіптік жабдық, технология, AR, толықтырылған шындық, өнеркәсіптік контроллер, бағдарламалау, басқару, қашықтықтан басқару.*

Кіріспе

Өндірісті және техникалық білім беруді цифрландырудың қазіргі кезеңі толықтырылған және виртуалды шындықты, цифрлық егіздерді, IoT және киберфизикалық жүйелерді қоса алғанда, Индустрия 4.0 технологияларын белсенді енгізумен қатар жүреді. Нақты жабдық пен цифрлық интерфейстерді біріктіру арқылы инженерлік оқытудың тиімділігін арттыру және өндірістік процестерді визуализациялау кезек күттірмейтін міндет болып табылады. Толықтырылған шындық (AR) технологиялары ерекше маңызға ие, олар виртуалды ақпаратты нақты объектілерге орналастыруға мүмкіндік береді, осылайша жабдықты оқыту және өндірістік пай-

далану кезінде көрінуді, интерактивті және қауіпсіздікті қамтамасыз етеді.

Бұл сала «Цифрлық Қазақстан» бағдарламаларын және білім беруді цифрландыру стратегияларын іске асыру тәжірибесіне бағытталған цифрлық шешімдерді енгізуді талап ететін Қазақстан Республикасында әсіресе өзекті болып табылады [1]. Барлық аймақтық университеттер заманауи өнеркәсіптік жабдықтарға қол жеткізе алмайтын жағдайда, AR жүйелері өндірістік процестердің виртуалды аналогтарын жасауға және барлық студенттер мен аспиранттарға заманауи инженерлік технологияларға тең қолжетімділікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл мамандарды қашықтықтан оқытуға, брифингтер өткізуге, ақауларды диагностикалауға және физикалық араласусыз жабдықпен өзара әрекеттесуге мүмкіндік беретін шешімдерге де қызығушылық танытады. Бұл әсіресе тау-кен, энергетика және машина жасау кәсіпорындары үшін өте маңызды, мұнда қателердің жоғары құны мүмкіндігінше шындыққа жақын, бірақ қауіпсіз жағдайларда алдын ала дайындықты талап етеді.

Осылайша, нақты жабдыққа негізделген инженерлік кадрларды даярлау жүйесінде толықтырылған шындықты енгізу және қолдану, оқу-өндірістік ортаға масштабтау және интеграциялау практикалық тұрғыдан маңызды және ғылыми негізделген бағыттардың бірі болып табылады.

Берілген зерттеуде мехатрондық жүйелерді оқыту мақсатында Индустрия 4.0 концепциясы аясында Siemens S7-1500 контроллері негізінде өнеркәсіптік жабдықпен визуализация және өзара әрекеттесу үшін кросс-платформалық AR жүйесі әзірленді.

«Festo технологиялық желісі» мехатрондық жүйесі – бұл автоматтандырылған өндірістік процестерді зерттеу және модельдеу үшін қолданылатын заманауи оқу-зертханалық стенді. Берілген оқу-зертханалық стенді икемді автоматтандырылған роботтық техникалық құрылғылары бар өнеркәсіптік жабдықтың шынайы аналогы болып табылады [2].

Бұл жоба Siemens өнеркәсіптік контроллерлерін зерттеуге арналған бағдарламалық-әдістемелік кешенді әзірлеуге бағытталған. Сонымен қатар, ол TIA Portal ортасында MPI өнеркәсіптік желісі арқылы SIMATIC S7-300 және S7-1500 контроллерлерін бағдарламалау бойынша студенттердің практикалық дағдыларын жетілдіруге арналған. Оқу-зертханалық стенді Индустрия 4.0 тұжырымдамасының негізгі элементтерін біріктіреді: датчиктер, бағдарламаланатын логикалық контроллерлер (PLC), адам-машина интерфейсі (HMI) және түрлі орындау құрылғылары [3].

Бұл зерттеуде Festo стендіне толықтырылған шындық (AR) технологиясын енгізудің негізгі мақсаты – өндірістік процестерді визуализациялау және студенттерге/мамандарға интерактивті оқыту ортасын құру болып табылады.

Бұл технология өнеркәсіптік жабдықтың жұмыс жасау принциптерін нақты уақытта көрсетуге мүмкіндік береді. Студенттер мен оқытушылар 3D форматында күрделі механизмдердің ішкі құрылымын, басқару схемалары мен операцияларын көре алады. Бұл тәсіл дәстүрлі оқыту әдістерін толықтырады және теориялық білім мен практикалық дағдылар арасындағы алшақтықты жояды. 1-суретте «FESTO Технологиялық желісі» стендінің сыртқы бейнесі көрсетілген.

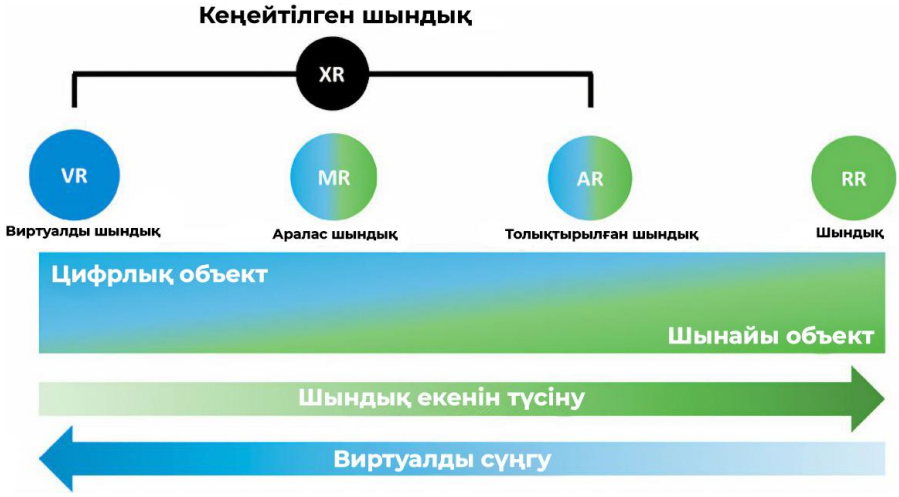
Зерттеу әдістері

Академиялық зерттеулерде де, өнеркәсіптік секторда да толықтырылған шындық (AR), аралас шындық (MR) және виртуалды шындық (VR) сияқты терминдерді анықтауда әлі де шатасу бар. Жоғарыда аталған терминдердің барлығы шындықты түсінудің әртүрлі дәрежелері бар толықтырылған шындық спектріне (Extended Reality, XR) қатысты. 2-суретте AR, MR-ден VR-ге дейінгі технологияларды қамтитын XR континуумы көрсетілген. Бұл технологияларды ерекшелендіретін негізгі айнымалы нақты жүйеге әсер ету кезінде шындықты білу болып табылады.

Соңғы жылдары виртуалды және толықтырылған шындыққа қатысты тенденциялар зерттеледі және қолданылады. Технологиялық шешімдердің осы түрін енгізу көптеген кәсіпорындар мен өнеркәсіптердің жұмысына ықпал етеді [4].

AR (толықтырылған шындық) қолданбаларының адам басына киілетін құрылғыларында (HMD) және портативті құрылғыларда (смартфондар, планшеттер) әртүрлі аппараттық мүмкіндіктері бар. Басқа киілетін дисплейлер тікелей көзге көрінетін кескіндерді береді (оптикалық өту), сондықтан шынайы әлемге қатысты кідіріс аз немесе мүлдем болмайды. Смартфондар/планшеттер, керісінше, бейнені камера арқылы бейнелейді (бейне арқылы өту) және кескінді құру жылдамдық пен кідіріске байланысты қиындық тудыруы мүмкін [2]. AR қосымшалары өндірістің арнайы тапсырмалары (құрастыру, монтаждау, жөндеу), медициналық білім беру, ойын-көңіл көтеру сияқты түрлі салаларда қолданылады. Әр саладағы талаптарға байланысты интерфейс ерекшеліктері де өзгереді. Мысалы, өндірістік жинақтау тапсырмалары үшін кей зерттеулер HMD-дің қолмен басқару мүмкіндігін пайдаланады.

1-сурет – «FESTO Технологиялық желісі» стенді (Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің «Өндірістік процестерді автоматтандыру» кафедрасының «FESTO – СИНЕРГИЯ» Республикалық ғылыми-білім беру орталығында орналасқан)



2-сурет – Толықтырылған шындық спектрі

Зерттеу нәтижелері

«FESTO Технологиялық желісі» стендінің кескіні Unity бағдарламалау ортасында Vuforia модулін қолдану арқылы Vuforia Creator App қосымшасы негізінде әзірленді. 3-суретте Unity ортасындағы «Festo технологиялық желісі» стенді Area target нысаны көрсетілген.

Vuforia Engine – бұл AR қосымшаларын әзірлеуге арналған жетекші платформалардың бірі [5]. Бұл әзірлеушілерге мобильді қосымшалар мен өндірістік құрылғыларды біріктіруге болатын интерактивті AR тәжірибесін жасауға, сонымен қатар, өнеркәсіпте жұмысшылар мен инженерлерге жабдықты жөндеу және оның жұмыс жасау технологиясын меңгеруге мүмкіндік береді. Нақты объектілерде көрсетілген AR нұсқаулары мен схемалары күрделі тапсырмаларды орындауды жеңілдетеді.

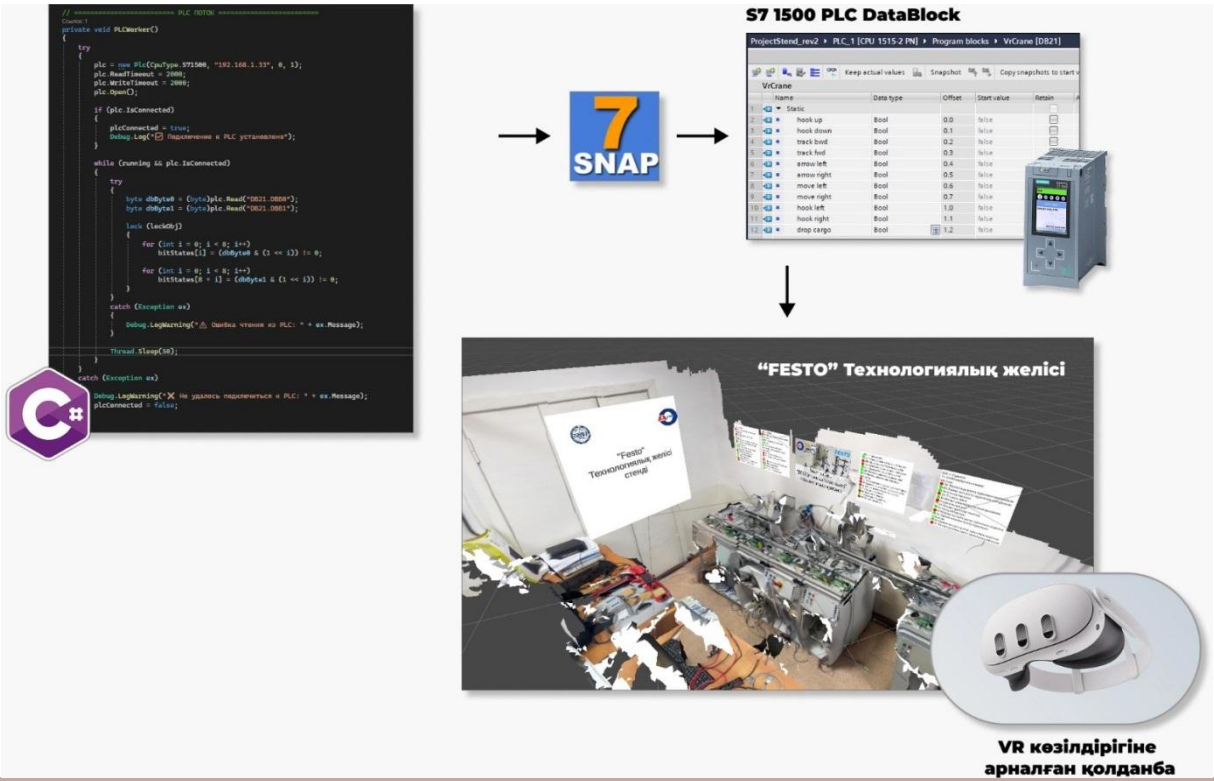
Толықтырылған шындық қолданбасын әзірлеу үшін Meta Quest 3 гарнитурасы пайдаланылды. Meta Quest 3 Snap7 сияқты кітапханалар арқылы алынған деректерді көрсету үшін пайдаланылуы мүмкін. Бұл «FESTO Технологиялық желісі» стендінің құрамына

кіретін датчиктері мен SIMATIC S7-300 және S7-1500 контроллерлері құрылғыларынан ақпаратты біріктіруге, оны тікелей объектіде немесе кеңістікте визуализациялауға мүмкіндік береді [6]. Төменде 4-суретте «FESTO Технологиялық желісі» стенді үшін толықтырылған шындық технологиясын құру сұлбасы көрсетілген.

Meta Quest 3 AR интерфейстерінің көмегімен пайдаланушылар:

- Контроллер арқылы өндірістік құрылғыларды қашықтан басқара алады;
- Өнімділікті оңтайландыру мақсатында жабдықтың параметрлерін өзгерту үшін AR

3-сурет – Unity ортасындағы «Festo технологиялық желісі» стенді Area target нысаны



4-сурет – «FESTO Технологиялық желісі» стенді үшін толықтырылған шындық технологиясын құру сұлбасы

басқару панельдерін пайдалана алады.

Snap 7 кітапханасы арқылы:

- Датчиктер деректері: температура, қысым, сұйықтық деңгейі және басқа да өлшемдер нақты уақытта өндірістік құрылғыларға немесе жабдықтарға бекітілген виртуалды көрсеткіштер ретінде бейнеленеді;
- Контроллер деректеріне қол жеткізу: жабдықтың өнімділігі немесе ақаулары туралы ақпарат операторларға тікелей көрсетіліп, жылдам шешім қабылдауға мүмкіндік береді.

Snap 7 кітапханасы функциясы [7]:

- Өндірістік контроллерден деректерді алу;
- Snap 7 айнымалы мәндерді (мысалы, жылдамдық, температура) оқуға және оларды AR қолданбасына тасымалдауға мүмкіндік береді;
- Өндірістік контроллерге мәліметтерді жазу;
- AR құрылғысы жабдыққа командалар жібере алады (мысалы, өндіріс процесінің параметрлерін өзгерту);
- Нақты уақыттағы деректерді визуализациялау;
- Деректер AR ортасында ыңғайлы және көрнекі түрде көрсетіледі.

AR жүйесін Siemens S7-1200 немесе S7-1500 өндірістік контроллерлерімен байланыстыру үшін C# тілінде Snap7 кітапханасы қолданылады. Бұл кітапхана Unity жобасы ішінде контроллермен TCP/IP протоколы арқылы тікелей байланыс орнатып, деректерді оқу/жазу мүмкіндігін береді. Бағдарламада S7Client объектісі инициализацияланып, контроллердің IP мекенжайы, rack және slot параметрлері көрсетіледі. Қосылу орнатылғаннан кейін жүйе контроллер жадының DB аймағынан қажетті байттарды оқып, оларды биттік күйге түрлендіріп, атқарушы механизмдерді басқаруға немесе процестің күйін визуализациялауға қолданады.

Төменде Siemens S7-1500 бағдарламалануатын логикалық контроллерінен деректерді оқу үшін Unity және Snap 7 кітапханасын пайдалану мысалы келтірілген. Код өнеркәсіптік жабдықты толықтырылған шындықпен біріктіруге арналған және 5-суретте көрсетілген.

Зерттеуде Unity ортасында жасалған 3D кескін «Festo технологиялық желісі» стендінің цифрлық үлгісін қамтиды. Бұл кескінде датчиктер/сенсорлар көрсеткіштері, жабдықтардың күйі, басқару интерфейстері (қозғалыс, қосу/өшіру командалары) толық визуализацияланған.

Meta Quest 3 көмегімен пайдаланушы «Festo технологиялық желісі» стендіне жақындағанда, нақты стендтің үстіне виртуалды деректер қабаттаса көрсетіледі (мысалы, температура графигі, қосылған/сөнген индикаторлар және т.б.). Сканерлеу барысы 5-суретте көрсетілген.

Snap 7 кітапханасы арқылы Siemens S7-1500 контроллерінен нақты уақыттағы деректер Unity ортасына жіберіліп, AR интерфейсіне бейнеленеді. Деректер алмасу циклдік түрде орындалып, байланыс тұрақтылығы мен қателерді өңдеу механизмдері қамтамасыз етіледі. Айнымалылар Siemens TIA Portal ортасында құрылымдандырылып, нақты жабдықтың логикалық басқару сигналдары ретінде пайдаланылады. Осы тәсіл нақты уақыт режимінде контроллерден келетін ақпаратты жоғары деңгейлі жүйелерге, Unity симуляциясына немесе AR-интерфейстерге интеграциялауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Snap7 кітапханасының ашық бастапқы коды жүйенің икемділігін арттырып, деректерді өңдеуді қолданбаның қажеттілігіне қарай оңтайландыруға жағдай жасайды.

Қорытынды

Эксперименттің негізгі мақсаты – толықтырылған шындық (AR) көмегімен нақты өндірістік процесті визуализациялау және басқару мүмкіндігін көрсету. Ол үшін Unity 3D ортасында әзірленген кескін Snap7 кітап-

```
void Start()
{
    // Настраиваем PLC S7-1200 с IP-адресом
    plc = new Plc(CpuType.S71200, "192.168.0.1", 0, 1);
    try
    {
        plc.Open();
    }
    catch (Exception ex)
    {
        Debug.LogError("Не удалось подключиться к PLC: " + ex.Message);
    }
}
```

5-сурет – Өндірістік контроллермен байланысты орнату бағдарламасының коды

ханасы арқылы Siemens S7-1500 өндірістік контроллерімен байланысып [8, 9], нақты деректер негізінде виртуалды модельдің сипаттамаларын өзгерте алады.

Эксперимент барысында «Festo технологиялық желісі» стенді мен Siemens S7-1500 өндірістік контроллері арқылы басқарылатын AR-интерфейс тиімділігін тексеру үшін бірнеше техникалық және әдістемелік көрсеткіштер бағаланды және аталған көрсеткіштер кестеде келтірілген.

Нәтижелер көрсеткендей, өндірістік контроллер мен Unity арасындағы деректер алмасу нақты уақыт режимінде жұмыс істейді, кідіріс байқалмады, бұл пайдаланушы тәжірибесін жақсартуға мүмкіндік береді.

Өндірістік «Festo технологиялық желісінің» жабдығы толықтырылған шынайылық құралдары арқылы үшөлшемді кеңістікте көрсетіліп, операторға нұсқаулықтар, диагностикалық мәліметтер және жабдықтың ағымдағы күйі виртуалды түрде ұсынылады. Бұл шешім өндірістік процестерді оқыту, мониторинг және талдау үшін заманауи цифрлық технологияларды біріктіретін кешенді жүйе болып табылады. Сонымен бірге, AR-негізіндегі интерфейс қызмет көрсетуші мамандарға жабдықтың күрделі элементтерін визуалды түрде бейнелеуге, параметрлерді нақты уақыт режимінде бақылауға және ақауларды анықтау процесін жеңілдетуге мүмкіндік береді. Нәтижесінде, жүйе өндірістік процестердің тиімділігін арттырып, цифрлық трансформация талаптарына сай интеллектуалды басқару платформасын қалыптастырады.

Толықтырылған шындық технологиялары қауіпсіздікті жақсартатын және өнеркәсіпте қашықтан басқаруға мүмкіндік беретін инновациялық шешімдерді ұсынады. Осындай AR шешімдерін енгізу арқылы өндірістік процестердің тиімділігі артады, адам қателері азаяды, жұмыс орнындағы қауіпсіздік пен қызметкерлердің өнімділігі артады. Сонымен қатар, қашықтан басқару мүмкіндігі кәсіпорындарға мамандарды орналастыруға байланысты шығындарды азайтуға мүмкіндік береді.

AR-интерфейсін қолданудағы техникалық және әдістемелік көрсеткіштер

Көрсеткіш	Мәні
Байланыс уақыты	< 50 мс (Snap7 арқылы TCP/IP)
Жауап беру уақыты	~30 мс (бір әрекетке реакция)
Қозғалыс дәлдігі	±1 Unity unit (позиция синхрондалуы)
Қолданушы интерфейсі	AR интерфейсі арқылы интуитивті басқару
Құрылғылар арасындағы тұрақтылық	99% жұмыс уақыты ішінде тұрақты байланыс
Қозғалыс дәлдігі	±1 Unity unit (позиция синхрондалуы)

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Алимбаев М.Қ. Индустрия 4.0: Қазақстанның өндірісіндегі жаңа мүмкіндіктер // Техникалық ғылымдар журналы. – 2022. – № 3. – 45-50 б.
2. Festo Didactic. Mechatronics Learning System. – Germany: Festo AG, 2020. – 198 б.
3. Siemens AG. SIMATIC S7-1200: System Manual. – Germany: Siemens, 2021. – 430 б.
4. Милграм П., Кишино Ф. Аралас шындықтың таксономиясы: толықтырылған шындықтың спектрі // IEICE Transactions on Information and Systems. – 1994. – № 12. – 1321-1329 б.
5. Vuforia Engine Developer Library. [Электрондық ресурс] – URL: https://library.vuforia.com/
6. Meta XR SDK Documentation. [Электрондық ресурс] – URL: https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-meta-xr-sdk/
7. Snap 7 – An open source Siemens S7 communication library. [Электрондық ресурс] – URL: http://snap7.sourceforge.net/
8. Unity Technologies. Unity 2022 Documentation. [Электрондық ресурс] – URL: https://docs.unity3d.com/
9. Codell B. AR-assisted assembly for Boeing aircrafts. – Boeing AR Initiative. – Seattle, 2018.

Использование технологий дополненной реальности (AR) в обучении мехатронных систем в рамках концепции Индустрии 4.0 (на основе опыта Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова)

*[1]*ТОХМЕТОВА Куралай Муратбековна,* магистр, старший преподаватель, kuralay_tokhmetova@mail.ru,
[2]АҚҚАЗЫЕВ Бекжан Мерғалиұлы, магистр, инженер-программист, bekzhan22@gmail.com,
[1]СҮНДЕТ Гамзат Ернатұлы, магистр, старший преподаватель, gamzat.kz@mail.ru,
[1]ЖУМАГУЛОВА Динара Кешубаевна, магистр, старший преподаватель, appdinara@mail.ru,
[1]АЛПАНОВА Гаухар Марғұланқызы, магистр, преподаватель, kuralay_tokhmetova@mail.ru,
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]ТОО «АСЭП», ул. Штурманская, 19Б, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Повышение эффективности инженерного обучения и визуализация производственных процессов за счет интеграции реального оборудования и цифровых интерфейсов является неотложной задачей. В статье разработана кроссплатформенная система AR для визуализации и взаимодействия с промышленным оборудованием на основе контроллера Siemens S7-1500 в рамках концепции Индустрии 4.0 с целью обучения мехатронным системам. Данная мехатронная система является аналогом промышленного оборудования. В этом исследовании основной целью является внедрение технологии дополненной реальности (AR) на стенде Festo, визуализация производственного процесса и создание интерактивной среды обучения для студентов/специалистов. В статье рассматривается интеграция системы AR с контроллером Siemens и стендом Festo через библиотеку SNAP7. Приведены шаги по разработке интерфейсов AR для устройств типа HMD и HHD, описание взаимодействия с пользователем, фрагменты программного кода, а также результаты экспериментальных испытаний системы. Разработанная система AR создает практическую основу для реализации иммерсивного инженерного образования, повышает эффективность визуального восприятия технических процессов и может использоваться как в высших учебных заведениях, так и на предприятиях.*

Ключевые слова: *Индустрия 4.0, мехатронная система, промышленное оборудование, технология, дополненная реальность, промышленный контроллер, программирование, управление, дистанционное управление.*

The Use of Augmented Reality (AR) Technologies in the Training of Mechatronic Systems Within the Framework of the Industry 4.0 Concept (Based on the Experience of Abylkas Saginov Karaganda Technical University)

*[1]*TOKHMETOVA Kuralay,* Master's Degree, Senior Lecturer, kuralay_tokhmetova@mail.ru,
[2]AKKAZYEV Bekzhan, Master's Degree, Software Engineer, bekzhan22@gmail.com,
[1]SUNDET Gamzat, Master's Degree, Senior Lecturer, gamzat.kz@mail.ru,
[1]ZHUMAGULOVA Dinara, Master's Degree, Senior Lecturer, appdinara@mail.ru,
[1]ALPANOVA Gauhar, Master's Degree, Lecturer, kuralay_tokhmetova@mail.ru,
[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]«ASEP» LLP, Shturmanskaya Street, 19B, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *Improving the efficiency of engineering training and visualizing production processes through the integration of real-world equipment and digital interfaces is an urgent task. This article develops a cross-platform AR system for visualization and interaction with industrial equipment based on the Siemens S7-1500 controller within the framework of the Industry 4.0 concept in order to teach mechatronic systems. This mechatronic system is an analogue of industrial equipment. In this study, the main goal is to introduce augmented reality (AR) technology at the Festo booth, visualize the production process, and create an interactive learning*

environment for students/professionals. The article discusses the integration of the AR system with the Siemens controller and the Festo stand through the SNAP7 library. The steps for developing AR interfaces for HMD and HHD devices, a description of user interaction, fragments of program code, as well as the results of experimental tests of the system are presented. The developed AR system creates a practical basis for the implementation of immersive engineering education, increases the efficiency of visual perception of technical processes and can be used both in higher education institutions and enterprises.

Keywords: *Industry 4.0, mechatronic system, industrial equipment, technology, augmented reality, industrial controller, programming, control, remote control.*

REFERENCES

1. Alimbaev M.K. Industrija 4.0: Kazakstannyn əndirisindegi zhana mүmkindikter // Tehnikalyk gylymdar zhurnaly. – 2022. – № 3. – Pp. 45-50.
2. Festo Didactic. Mechatronics Learning System. – Germany: Festo AG, 2020. – 198 p.
3. Siemens AG. SIMATIC S7-1200: System Manual. – Germany: Siemens, 2021. – 430 p.
4. Milgram P., Kishino F. Aralas shyndyktyn taksonomijasy: kenejtilgen shyndyktyn spektri // IEICE Transactions on Information and Systems. – 1994. – № 12. – Pp. 1321-1329.
5. Vuforia Engine Developer Library. [Elektrondyk resurs] – URL: https://library.vuforia.com/
6. Meta XR SDK Documentation. [Elektrondyk resurs] – URL: https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-meta-xr-sdk/
7. Snap 7 – An open source Siemens S7 communication library. [Elektrondyk resurs] – URL: http://snap7.sourceforge.net/
8. Unity Technologies. Unity 2022 Documentation. [Elektrondyk resurs] – URL: https://docs.unity3d.com/
9. Codell B. AR-assisted assembly for Boeing aircrafts. – Boeing AR Initiative. – Seattle, 2018.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_389 ӘОЖ 621.372.8

Заманауи навигациялық жүйелердегі талшықты-оптикалық гироскоптар

[1]СМАЙЛОВ Нұржігіт Құралбаевич, *PhD, профессор, n.smailov@satbayev.university,*
[1]ТАШТАЙ Ерлан, *т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, y.tashtay@satbayev.university,*
[1]*НУСУПОВ Ержан, *докторант, nussupov.erzhan@gmail.com,*
[2]КОМАДА Павел, *PhD, профессор, p.komada@pollub.pl,*
[1]БАЗАРБАЙ Айдана Мұратқызы, *докторант, aidanabazarbai@mail.ru,*
[1]«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 22, Алматы, Қазақстан,
[2]Люблин политехнкалық университеті, Люблин, Польша,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Инерциялық навигациялық жүйелерде, әсіресе спутниктік сигналдар қол жетімсіз немесе бұрмаланатын жағдайларда талшықты-оптикалық гироскоптарды әзірлеу және қолданудың заманауи тәсілдеріне жан-жақты шолу ұсынылған. Сагнак эффектісіне негізделген интерферометриялық және резонанстық талшықты-оптикалық гироскоптың жұмыс істеу принциптері, олардың конструкциялық ерекшеліктері, дәстүрлі механикалық гироскоптармен салыстырғандағы артықшылықтары мен кемшіліктері толыққанды қарастырылады. Оптикалық катушка ұзындығы мен диаметрінің сезімталдыққа, кездейсоқ шу деңгейіне және нөлдік тұрақсыздыққа әсерін ескере отырып, MATLAB ортасында жасалған тәжірибелер арқылы интерферометриялық талышқты-оптикалық гироскоптарда қолданылатын талшықтың ұзындығы мен катушканың диаметріне тікелей тәуелді екені айқындалды. Автономды навигациялық жүйелерге талшықты-оптикалық гироскоптардың интеграциясы күрделі инженерлік міндет болып қала береді, ол дизайнды оңтайландыруды, сигналдарды өңдеу алгоритмдерін жетілдіруді, мультисенсорлық жүйелерге бейімделуді және нақты уақыт режимінде деректерді жинаудың тиімділігін арттыруды талап етеді. Ұсынылған нәтижелер мен қорытындыларды авиацияда, теңіз көлігінде, ғарыш өнеркәсібінде, геодезия мен робототехникада қолдану үшін навигацияның жоғары дәлдігі мен сенімділігін қажет етеді.*

Кілт сөздер: *талшықты-оптикалық гироскоп, навигациялық жүйе, Сагнак эффектісі, оптоэлектрондық компонент, лазерлік гироскоп.*

Кіріспе

Заманауи навигациялық жүйелер әскери салада, авиацияда, ғарышты игеруде, кеме қатынасында, геодезияда және автономды ұшатын көліктерде көп қолданылады. Спутниктік навигациялық жүйелерден (GPS) сигнал болмаған немесе бұрмалануы мүмкін жағдайларда жоғары дәлдіктегі гироскопиялық сенсорларға негізделген инерциялық навигациялық жүйелердің маңыздылығы артады. Инерциялық навигациялық жүйелер – сыртқы сигнал көздерін пайдаланбай, тек өзінің сезгіш құрылғыларынан алынған мәліметтер негізінде нысанның координаталарын, жылдамдығын және бағыт-бағдарын анықтайтын құралдар жиынтығы. Гироскоп – объектінің кеңістіктегі орны мен бағдарын есептеу үшін қажетті бұрыштық жылдамдықты өлшейтін құрылғы. Гироскоптың көмегімен қозғалмалы нысандардың навигациялық және динамикалық параметрлерін есептеуге болады. Қазіргі таңда технологияның заманға сай қарқынды өзгеруіне байланысты гироскоптардың сан алуан түрлері бар – оптикалық гироскоптар әлемдік гироскопиялық техника арасында басым бөлігін құрайды [1].

Талшықты-оптикалық гироскоптар ғылыми жаңалығы олардың жоғары сезімталдығы мен дәлдігінде негізделген. Бұл заманауи навигациялық жүйелерде, әсіресе дәстүрлі механикалық гироскоптар тиімділігі нашарлаған жағдайларда таптырмас етеді. Механикалық гироскоптар айналмалы элементтерге негізделген, сондықтан тозуға сезімтал және әрдайым техникалық қызмет көрсетуді қажет етеді. Ал талшықты-оптикалық гироскоптар керісінше қозғалатын бөліктер жоқ,

бұл механикалық бұзылу қауіпін азайтады және сенімділікті арттырады [2].

Мақаланың мақсаты – талшықты-оптикалық гироскоптар туралы ғылыми әдебиеттерді талдау, олардың заманауи навигациялық жүйелерде қолданылуына басты назар аудару. Зерттеу жалпы талшықты-оптикалық гироскоптардың жұмыс істеу принциптерін, соның арасында интерферометриялық талшықты-оптикалық гироскоп технологиясын айқындау, олардың басқа гироскоптардың түрлеріне қарағанда артықшылықтары мен кемшіліктерін, осы салада жүргізілетін белсенді ғылыми зерттеулерге шолу. Ұшқышсыз көліктер сияқты автономды жүйелерде талшықты-оптикалық гироскоптарды пайдалану келешегін қарастыру және талшықты-оптикалық гироскоптар өнімділігін жақсартуға бағытталған соңғы технологияларды зерттеу. Талшықты-оптикалық гироскоптар саласындағы зерттеулер олардың сезімталдығы мен кедергілерге төзімділігін арттыруға бағытталғаны мәлім, яғни бұл болашақ қолдану үшін жаңа жол ашады. Жұмыстың нәтижесі талшықты-оптикалық гироскоптар навигациялық жүйелерді дамытуға қосқан үлесін бағалау және оларды болашақта қолдану болжамы болады.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу әдістемесі осы саладағы фундаменталды әдебиеттерге шолу, заманауи навигациялық жүйелерде талшықты-оптикалық гироскоптарды пайдалану мүмкіндіктерін талдау үшін MATLAB модельдеу ортасында зертханалық тәжірибелерден тұрады. Әдебиеттерге шолу талшықты-оптикалық гироскоптар теориялары мен әдістерін зерттеуді, әртүрлі жағдайларда талшықты-оптикалық гироскоптар өнімділігін тексеру үшін эксперименталды зерттеулер жүргізілуді және цифрлық модельдеу олардың заманауи навигациялық жүйелердегі пайдасын болжауға мүмкіндік берді. Нәтижелердің сенімділігін бағалау үшін, деректерді өңдеу және статистикалық талдау үшін мамандандырылған бағдарламалар қолданылды.

Бұл зерттеуде [3] гироскопиялық технология негіздері бойынша іргелі білім береді. Usubamatov гироскоп жұмысының негізгі принциптерін, олардың құрылымын және әртүрлі жүйелерде қолданысын түсіндіреді. Жұмыстың маңызды бөлігі теориялық негіздер мен олардың нақты инженерлік шешімдерімен байланысына арналған. Гироскопиялық жүйелерді зерттейтін жаңадан бастаушыларға арналған негізгі оқулықтардың бірі.

Бұл мақалада [4] Chopra гироскоптарды қолданудың практикалық аспектілеріне назар аударылады. Гироскопиялық жүйелерді әзірлеумен және пайдаланумен айналысатын инженерлерге арналған. Гироскоп түрлерінің негізгі жұмыс принциптерін, олардың жұмыс сипаттамаларын сипаттайды. Нұсқаулық нақты жүйелерде гироскоптармен жұмыс істейтін мамандар үшін пайдалы.

Song et al. [5] заманауи талшықты-оптикалық гироскоптарға терең талдауды қамтамасыз етеді, олардың дизайнының техникалық аспектілерін, қолданбаларын қарастырады. Мақала талшықты-оптикалық гироскоптардың дәлдігін, тұрақтылығын және сезімталдығын жақсарту әдістерін қарастырады. Гироскоп дизайнында қолданылатын жаңа материалдар мен технологияларға ерекше назар аударылады.

Zakirov [6] оптоэлектрондық технологияларды талшықты-оптикалық гироскоптар конструкцияларына біріктіруді зерттейді. Мақала гироскоптардағы талшықты-оптикалық және оптоэлектрондық компоненттердің өзара әрекеттесуін сипаттайды, бұл өлшеудің жоғары дәлдігіне қол жеткізуге мүмкіндік береді. Zakirov тұрақтандыру және навигациялық жүйелер саласындағы жаңа технологиялық шешімдерге де назар аударады.

Wang et al. [7] талшықты-оптикалық гироскоптар соңғы жаңалықтарды, сонымен қатар осы вектордың болашақ болжамын қарастырады. Басылым гироскопты жобалауда қолданылатын материалдар мен технологиялардағы қазіргі жетістіктерді қамтиды. Автор жоғары дәлдіктегі навигациялық жүйелерде, соның ішінде автономды басқару жүйелері мен ұшқышсыз көліктерде талшықты-оптикалық гироскоптарды пайдалану келешегін қарастырады.

Cao et al. [8] өз жұмыстарында талшықты-оптикалық гироскоптардың дамуы мен қолданылуына ерекше көңіл бөледі. Авторлар талшықты-оптикалық гироскоптар құрудың техникалық аспектілерін де, оларды әртүрлі салаларда қолдануды да сипаттайды. Негізгі назар гироскоптарды навигациялық жүйелерде, авиацияда және ғарыштық технологияда практикалық пайдалануға бағытталған.

Нәтижелер және талқылау

Талшықты-оптикалық гироскоптар сыртқы әсерлерге өте төзімді, бұл оларды дәстүрлі навигациялық жүйелер тиімділігі төмен болуы мүмкін ортада, мысалы ғарыш аппараттары мен су астындағы көліктер үшін әсіресе пайдалы етеді. Зерттеу нәтижелері терең кеңістік немесе мұхит тереңдігі сияқты экстремалды орталарда навигация дәлдігін неғұрлым арттыруы мүмкін. Оптикалық талшық және гироскоп компоненттерінің жаңа түрлерін зерттеу және ғылымда қолдану жалпы оптикалық сенсорлық технологияларды дамытуға орасан зор ықпал етеді. Бұл навигацияда ғана емес, телекоммуникация-

лар мен медициналық құрылғылар сияқты ғылым мен техниканың басқа салаларында да оптикалық технологияларды қолданудың жаңа бағыттарын ашады. Олардың жұмысы 1-суретте көрсетілген Сагнак принципінде негізделген.

Сагнак эффектісі негізіндегі талшықты-оптикалық гироскоптар жоғары дәлдікпен, механикалық әсерлерге төзімділікпен, қозғалатын бөліктердің болмауымен ерекшеленеді. Өзінің ықшамдылығы мен дәлдігінің арқасында олар заманауи навигациялық технологияларды, соның ішінде авиация, ұшқышсыз көліктерге арналған жүйелерді дамытуға үлесін тигізеді. Сонымен қатар жұмыс температурасының кең диапазонына байланысты, инерциялық навигациялық жүйелерде әртүрлі мақсаттарда пайдалану үшін таптырмас технология болып саналады.

Сагнак принципіне сәйкес, жалпы тұйық контурда таралатын екі қарама-қарсы оптикалық сәулелер контуры цикл болып айналса, яғни олар салыстырмалы фазасын өзгертетінін айтады. Осылайша, фазаның өзгеруі контурдың бұрыштық жылдамдығымен тікелей байланысты болуы мүмкін.

Сагнак эффектісіне сәйкес, талшықты-оптикалық катушкада екі жарық толқыны қарама-қарсы бағытта тараған кезде, ондағы жарық толқындарының таралуы кезінде катушка фаза бойынша айналса, бір толқын $+\varphi_s/2$, ал екіншісі $-\varphi_s/2$ Сагнак фазасының ығысуына ие болады. φ_s катушканың айналу бұрыштық жылдамдығына Ω тәуелділігі келесі формуламен өрнектеледі:

$$\Delta\varphi_s = \frac{2\pi LD}{\lambda C}\Omega, \qquad (1)$$

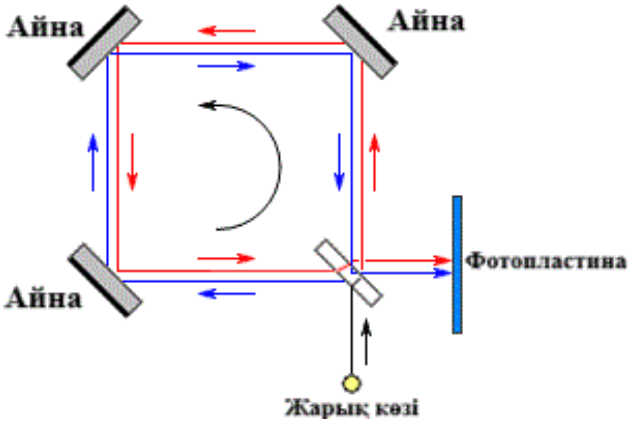
мұндағы λ – вакуумде орташа өлшенген жарықтың толқын ұзындығы, C – оптикалық сәулеленудің вакуумдегі таралу жылдамдығы, L – катушкадағы талшықтың ұзындығы, D – талшықты-оптикалық гироскоп катушкасының диаметрі. Талшық ұзындығы неғұрлым көп болса (катушка орамының санына тікелей байланысты), сезімталдық соғұрлым жоғары болады.

Қарсы таралатын толқындардың интерференциялығы немесе фазалар айырмашылығының өзгеруі фотодетектордағы J жарық қарқындылығының өзгеруімен анықталады және келесі формула бойынша өзгереді:

$$J = J_1 + J_2 + 2\sqrt{J_1 J_2}\cos k\Delta\varphi_s, \qquad (2)$$

мұндағы J – қарсы таралатын толқындардың қарқындылығы, k – толқын саны.

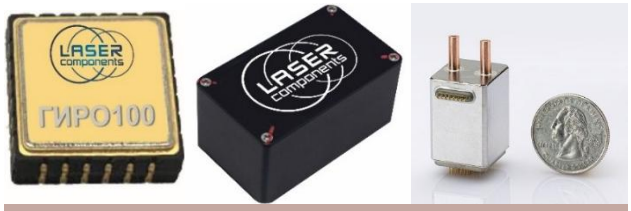
Талшықты-оптикалық гироскоптардың лазерлік гироскоптардан ең басты айырмашылығы – олардың пассивті оптикалық контурының болуы. Ол контурға сыртқы көзден сәулелену енеді. Қазіргі уақытта бар және дамып жатқан талшықты-оптикалық гироскоптар болуы мүмкін пайдалы сигналды алу принципі бойынша интерферометриялық талшықты-оптикалық гироскоп және резонанстық талшықты-оптикалық гироскоп [9] болып бөлінеді. Интерферометриялық талшықты-оптикалық гироскоп екі қарама-қарсы оптикалық толқындар талшықты тізбекте бір-бірімен әсерлеспей таралады және интенсивтіліктің интерференциялық өзгерісі контурдан өткеннен кейін тіркеледі. Басты кемшіліктері: шектеулі динамикалық диапазон, өлшенетін демодуляция сигналының өлшенетін жылдамдыққа синусоидалы тәуелділігіне байланысты шығыс сигналының сызықты еместігі, шектеулі дәлдік.



1-сурет – Сагнак принципі

Динамикалық диапазонды кеңейту үшін, масштаб коэффициентінің сызықтылығын арттыру және орташа жоғары дәлдікке (0,05°/сағ жоғары) жету үшін, жабық талшықты-оптикалық гироскоптар сигналын өңдеу схемасы қолданылады. Оның басты мәні модуляция сигналы кері байланыс циклiне кіреді және әрқашан максималды сезімталдық нүктесінде болады, сонымен қатар кері байланыс деректері негізінде шығыс сигнал жасалады. Жабық контурлы тізбек сызықтық реакциямен және жақсы тұрақтылықпен сипатталады. Алайда, масштаб коэффициентінің сызықтылығы бойынша кері байланысы бар интерферометриялық талшықты-оптикалық гироскоп әлі де лазерлі гироскоптардан төмен [10].

Талшықты-оптикалық гироскоптар дамуы интерферометриялық технологияны жетілдіру жалғасуда. Мұның себептері резонанстық талшықты-оптикалық гироскоптар және резонанстық микрооптикалық гироскоптар өз пішінін кішірейтуге және бағасын арзандатуға үлкен әлеуетке ие. 2-суретте көретініңіз жоғарыда аталған резонанстық талшықты-

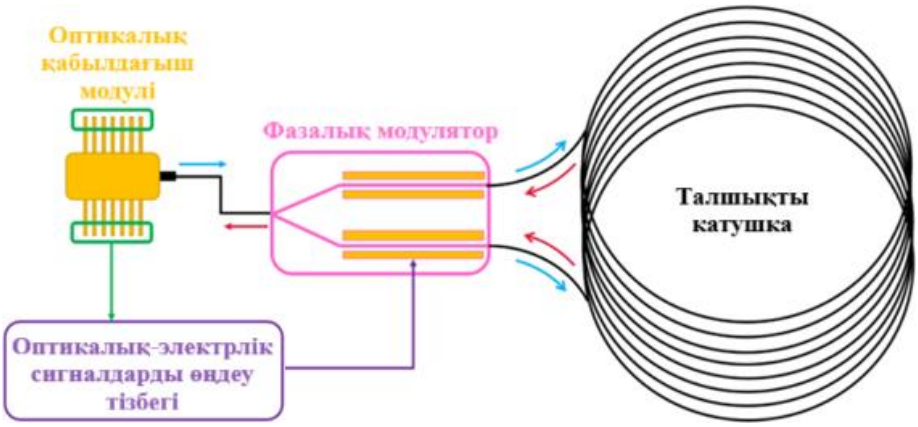


2-сурет – Кішігірім гироскоптардың түрлері

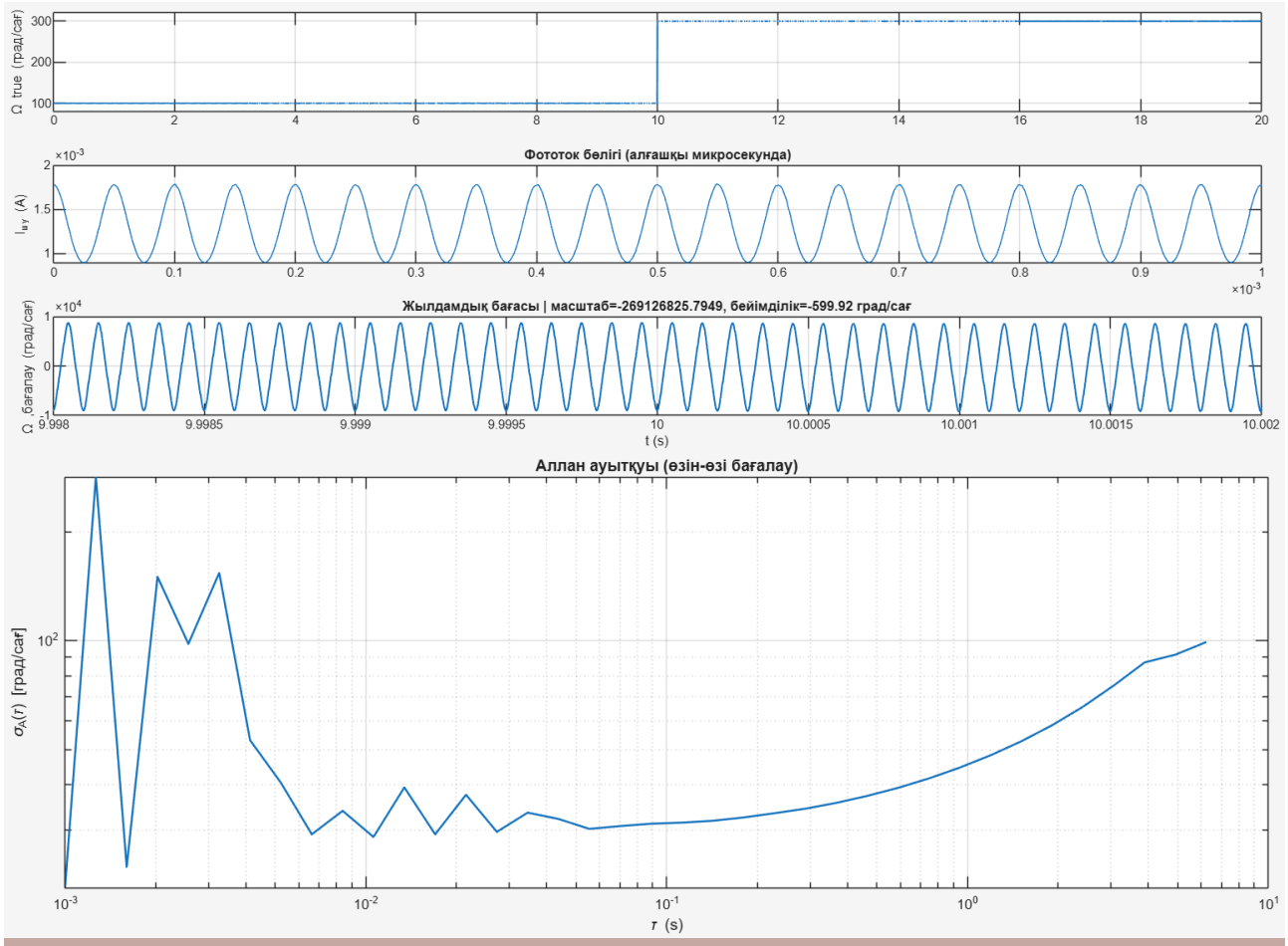
-оптикалық гироскоптар және резонанстық микрооптикалық гироскоптардың кейбір танымал модельдері көрсетілген.

Талшықты-оптикалық гироскоптар пайдалану мүмкіндіктерін талдау үшін MATLAB ортасында моделін қарастырып көрейік. 3-суретте кескінделгендей талшықты-оптикалық гироскоптар жұмыс істеу принципі.

Жоғарыда айтылғандай MATLAB ортасында интерферометриялық талшықты-оптика-



3-сурет – Талшықты-оптикалық гироскоптардың жұмыс істеу принципі [10]



4-сурет – №1 тәжірибе

лық гироскопты моделін тексеріп көрейік. Ол үшін ең алдымен, үйлесімді демодуляциясы бар фазалық модуляция және байланысқан толқындар әдісі негізінде интерферометриялық талшықты-оптикалық гироскоп жұмысын сандық модельдеу арқылы, өлшеу дәлдігін шектейтін негізгі физикалық эффектілер мен шу көздерін ескереміз. Интерферометриялық талшықты-оптикалық гироскоп сезімталдығына катушкалар геометриясының әсерін бағалау үшін екі сандық тәжірибе жүргізілді. Бірінші жағдайда ұзындығы L = 1000 м және диаметрі D = 0,20 м катушка пайдаланылды (4-сурет), екінші жағдайда L = 5000 м және D = 0,40 м ұлғайтылған параметрлері қолданылды (5-сурет).

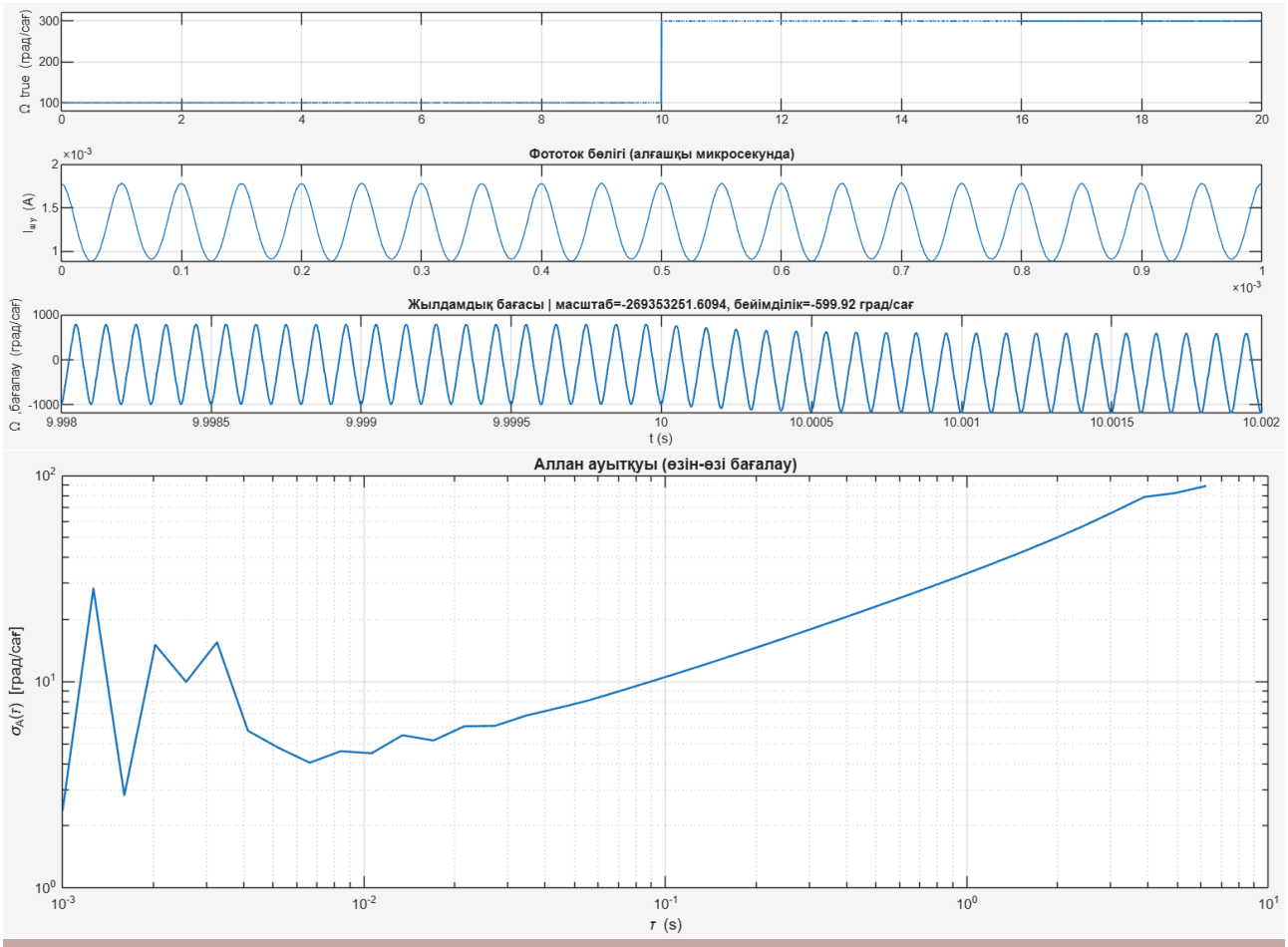
Талдау көрсеткендей, егер шу сол қалпында қалса, бірақ катушканың диаметрі мен ұзындығы ұлғайса, онда гироскоп көрсеткіштерінің кездейсоқ тербелістері шамамен үш есе азаяды және нөлдің ұзақ мерзімді тұрақсыздығы да төмендейді. Бұл үлкенірек Сагнак коэффициентімен бірдей айналу айтарлықтай фазалық ығысуды беретіндіктен болады. Сонымен қатар оның арқасында жүйе шудың фонында сигналды жақсырақ сезеді.

Осылайша, катушканың ұзындығы мен диаметрін ұлғайту сезімталдықты арттырудың және гироскоптың баламалы шу деңгейін төмендетудің тиімді әдісі болып табылады, бірақ өлшемдердің ұлғаюымен және практикалық іске асыруда оптикалық жоғалтулардың ұлғаюымен бірге жүреді, бұл дизайнды оңтайландыру кезінде ескерілуі керек.

Қорытынды

Осы жұмыста MATLAB ортасында интерферометриялық талшықты-оптикалық гироскоптың сандық имитациясы жасалды. Тәжірибе барысында дисперсия мен шудың негізгі көздері есепке алынды. Әзірленген модель фотодетоктордың шығысындағы сигналдың әрекетін жаңғыртуға, сонымен қатар үйлесімді демодуляция мен сүзгілеу кезеңдерін бақылауға, оптикалық катушканың әртүрлі параметрлері бар құрылғының сезімталдығын бағалауға мүмкіндік берді.

Екі конфигурацияны салыстыру көрсеткендей, катушканың ұзындығы мен диаметрінің артуы Сагнак коэффициентінің пропорционалды ұлғаюына әкеледі. Аллан талдауы



5-сурет – №2 тәжірибе

нөлдік тұрақсыздық аймағының төменгі мәндерге қарай ығысуын анықтады, бұл құралдың ұзақ мерзімді тұрақтылығының жақсарғанын көрсетеді. Катушкалар геометриясын оңтайландыру гироскоптың сезімталдығын айтарлықтай арттыруға және өлшеу жолындағы шудың әсерін азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, нақты жағдайларда өлшемдердің ұлғаюын және қосымша оптикалық шығындарды ескеру қажет, бұл дәлдіктің одан әрі жақсаруын шектей алады.

Осылайша, алынған мәліметтер негізінде талшықты-оптикалық гироскоптар автономды навигациялық жүйелерге біріктіру шамалас қиындықтармен тікелей байланысты. Осы бағытта зерттеулердің келешегін құрылғылардың пішінін жақсарту, оларды көп сенсорлы жүйелерге біріктіру және нақты уақыт режимінде деректерді жинау тиімділігін арттыру жұмыстары кіреді.

Мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің гранттық қаржыландыруы аясында, AP26104843 «Талшықты-оптикалық гироскоптарды зерттеу және навигациялық жүйені дамыту үшін қолдану» ғылыми-зерттеу жобасы бойынша дайындалған.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Huang H. et al. A high-sensitivity giant interferometric fiberoptic gyroscope for seismic observation // Journal of Lightwave Technology. – 2024.
2. Wang W. et al. Enhanced Sensitivity in Fiber Optic Gyroscopes Achieved Through Dual-channel Improved Cooperative Modulation // IEEE Sensors Journal. – 2025.
3. Usubamatov R. Theory of Gyroscopic effects for rotating objects // The Open Access Journal of Science and Technology. – 2020. – Vol. 2. – № 1.
4. Chopra K.N. Optoelectronic Gyroscopes // Progress in Optical Science and Photonics. Springer. – 2021. – Vol. 11. – P. 138.
5. Song N. et al. Advanced interferometric fiber optic gyroscope for inertial sensing: A review // Journal of lightwave technology. – 2023. – Vol. 41. – №. 13. – Pp. 4023-4034.
6. Zakirov R., Umarov A. Fiber optic gyroscope and accelerometer application in aircraft inertial system // 2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – IEEE, 2020. – Pp. 1-3.
7. Wang Z. et al. Recent advancements in resonant fiber optic gyro – A review // IEEE Sensors Journal. – 2022. – Vol. 22. – № 19. – Pp. 18240-18252.
8. Cao H. et al. Wavelength Correlation Detection and Third Closed-Loop Compensation for Enhancing Fiber Optic Gyroscope Scale Factor Stability // IEEE Sensors Journal. – 2025.
9. Dell'Olio F. et al. Miniaturization of interferometric optical gyroscopes: a review // IEEE Sensors Journal. – 2023. – Vol. 23. – № 24. – Pp. 29948-29968.
10. Ma X. et al. Relative intensity noise suppression methods for interferometric fiber-optic gyroscopes // IEEE Sensors Journal. – 2023. – Vol. 23. – № 17. – Pp. 19339-19345.

Волоконно-оптические гироскопы в современных навигационных системах

*[1]**СМАЙЛОВ Нуржигит Куралбаевич,** PhD, профессор, n.smailov@satbayev.university,*
*[1]**ТАШТАЙ Ерлан,** к.т.н., ассоциированный профессор, y.tashtay@satbayev.university,*
*[1]***НУСУПОВ Ержан,** докторант, nussupov.erzhan@gmail.com,*
*[2]**КОМАДА Павел,** PhD, профессор, p.komada@pollub.pl,*
*[1]**БАЗАРБАЙ Айдана Мұратқызы,** докторант, aidanabazarbai@mail.ru,*
[1]НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», ул. Сатпаева, 22, Алматы, Казахстан,
[2]Люблинский политехнический университет, Люблин, Польша,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Представлен комплексный обзор современных подходов к разработке и использованию волоконно-оптических гироскопов в инерциальных навигационных системах, особенно в условиях отсутствия или искажения спутниковых сигналов. Подробно рассмотрены принципы работы интерферометрических и резонансных волоконно-оптических гироскопов на эффекте Саньяка, их конструктивные особенности, преимущества и недостатки по сравнению с традиционными механическими гироскопами. Особое внимание уделено результатам моделирования интерферометрического волоконно-оптического гироскопа в среде MATLAB с учетом влияния длины и диаметра оптической катушки на чувствительность, уровень случайных помех и нестабильность нуля. Интеграция волоконно-оптических гироскопов в автономные навигационные системы остается сложной инженерной задачей, требующей оптимизации конструкции, совершенствования алгоритмов обработки сигналов, адаптации к многосенсорным системам и повышения эффективности сбора данных в реальном времени. Представленные результаты и выводы требуют высокой точности и надежности навигации для применения в авиации, морском транспорте, космической отрасли, геодезии и робототехнике.*

***Ключевые слова:** волоконно-оптический гироскоп, навигационная система, эффект Саньяка, оптоэлектронный компонент, лазерный гироскоп.*

Fiber Optic Gyroscopes in Modern Navigation Systems

*[1]**SMAILOV Nurzhigit,** PhD, Professor, n.smailov@satbayev.university,*
*[1]**TASHTAY Yerlan,** Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, y.tashtay@satbayev.university,*
*[1]***NUSSUPOV Yerzhan,** Doctoral Student, nussupov.erzhan@gmail.com,*
*[2]**KOMADA Pawel,** PhD, Professor, p.komada@pollub.pl,*
*[1]**BAZARBAY Aidana,** Doctoral Student, aidanabazarbai@mail.ru,*
[1]NPJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev», Satpayev Street, 22, Almaty, Kazakhstan,
[2]Lublin University of Technology, Lublin, Poland,
**corresponding author.*

***Abstract.** The article presents a comprehensive review of modern approaches to the development and use of fiber-optic gyroscopes in inertial navigation systems, especially in the absence or distortion of satellite signals. The operating principles of interferometric and resonant fiber-optic gyroscopes based on the Sagnac effect, their design features, advantages and disadvantages compared to traditional mechanical gyroscopes are considered in detail. Particular attention is paid to the results of modeling an interferometric fiber-optic gyroscope in the MATLAB environment, taking into account the effect of the length and diameter of the optical coil on sensitivity, the level of random interference and zero instability. Integration of fiber optic gyroscopes into autonomous navigation systems remains a challenging engineering task requiring design optimization, signal processing algorithm improvement, adaptation to multi-sensor systems, and increased real-time data collection efficiency. The presented results and conclusions require high accuracy and reliability of navigation for applications in aviation, marine transport, space industry, geodesy, and robotics.*

***Keywords:** fiber optic gyroscope, navigation system, Sagnac effect, optoelectronic component, laser gyroscope.*

REFERENCES

1. Huang H. et al. A high-sensitivity giant interferometric fiberoptic gyroscope for seismic observation // Journal of Lightwave Technology. – 2024.
2. Wang W. et al. Enhanced Sensitivity in Fiber Optic Gyroscopes Achieved Through Dual-channel Improved Cooperative Modulation // IEEE Sensors Journal. – 2025.
3. Usubamatov R. Theory of Gyroscopic effects for rotating objects // The Open Access Journal of Science and Technology. – 2020. – Vol. 2. – № 1.
4. Chopra K.N. Optoelectronic Gyroscopes // Progress in Optical Science and Photonics. Springer. – 2021. – Vol. 11. – P. 138.
5. Song N. et al. Advanced interferometric fiber optic gyroscope for inertial sensing: A review // Journal of lightwave technology. – 2023. – Vol. 41. – №. 13. – Pp. 4023-4034.
6. Zakirov R., Umarov A. Fiber optic gyroscope and accelerometer application in aircraft inertial system // 2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – IEEE, 2020. – Pp. 1-3.
7. Wang Z. et al. Recent advancements in resonant fiber optic gyro – A review // IEEE Sensors Journal. – 2022. – Vol. 22. – № 19. – Pp. 18240-18252.
8. Cao H. et al. Wavelength Correlation Detection and Third Closed-Loop Compensation for Enhancing Fiber Optic Gyroscope Scale Factor Stability // IEEE Sensors Journal. – 2025.
9. Dell'Olio F. et al. Miniaturization of interferometric optical gyroscopes: a review // IEEE Sensors Journal. – 2023. – Vol. 23. – № 24. – Pp. 29948-29968.
10. Ma X. et al. Relative intensity noise suppression methods for interferometric fiber-optic gyroscopes // IEEE Sensors Journal. – 2023. – Vol. 23. – № 17. – Pp. 19339-19345.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_397 ӘОЖ 62-523

Параллельді жұмыс режиміндегі сорғы агрегаттарының энергия тиімділігін генетикалық алгоритм арқылы арттыру

[1]***КОСЫМБАЕВ Рауан Болатович,** докторант, kosymbaev.r@gmail.com,*
*[1]**БУЛАТБАЕВА Юлия Феликсовна,** PhD, қауымдастырылған профессор, julia_my_angel@mail.ru,*
*[2]**ЦЫПКИНА Виктория Вячеславовна,** PhD, профессор, c-victory@yandex.com,*
*[2]**ИВАНОВА Вера Павловна,** PhD, доцент, veronika.tsipkina@yandex.com,*
*[1]**БУЛАТБАЕВ Феликс Назымович,** т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, felix4965@mail.ru,*
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Университетская көшесі, 2, Ташкент, Өзбекстан,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Параллель жұмыс режимінде істейтін сорғы агрегаттарының энергия тиімділігі мен сенімділігін арттыру үшін генетикалық алгоритмді қолдану қарастырылады. Модельдеу Matlab&Simulink ортасында жүргізіліп, орталықтан тепкіш сорғылардың параллель жұмысының динамикасын егжей-тегжейлі талдауға мүмкіндік берді. Басқарушы әсерлер ретінде төрт жетектің жиіліктері алынды, ал критерийлер ретінде талап етілетін қысымды ұстап тұру, жиынтық қуатты азайту және гидравликалық шектеулерді сақтау қарастырылды. Есептеу эксперименттерінің сериясы операторлардың баптаулары мен мақсатты функция салмақтарының жинақталу жылдамдығына және шешім сапасына әсерін көрсетті. Нәтижелер энергия тұтынудың тұрақты төмендеуін қамтамасыз ете отырып, режимнің сенімді сақталатынын дәлелдеді. Талдау негізінде сорғы жүйелерін оңтайландыру міндеттері үшін генетикалық алгоритм параметрлерін таңдауға практикалық ұсынымдар ұсынылды.*

***Кілт сөздер:** генетикалық алгоритм, параметрлерді баптау, параллельді сорғылар, оңтайландыру, MATLAB, эксперименттер, алгоритмнің жинақталуы.*

Кіріспе. Сумен жабдықтау жүйелеріндегі сорғы станцияларының энергия тиімділігі – қазіргі заманғы коммуналдық энергетиканың инженерлік-техникалық қызметтері шешетін ең өзекті мәселелердің бірі болып қала береді. Статистикалық деректерге сәйкес, сорғы жабдықтары суды тасымалдау мен таратуға жұмсалатын барлық электр энергиясының 70-80%-ға дейінгі бөлігін тұтынады [1]. Бұл ретте пайдалану тәжірибесі көрсеткендей, сорғы станцияларының жұмыс режимдерінің басым бөлігі оңтайлы емес, бұл түпкі есебінде жабдықтың тозуына және жалпы алғанда электр энергиясының 15-30%-ға артық жұмсалуына әкеп соғады [2].

ПИД-реттегіштер мен жиілікті реттеуге негізделген дәстүрлі жүйелер, өздерінің сенімділігі мен іске асыру қарапайымдылығына қарамастан, бірнеше сорғы арасында жүктемелердің үлестірілуін жаһандық оңтайландыруды қамтамасыз етуге жиі қауқарсыз болып келеді [3]. Бұл сорғылар мен желінің гидравликалық кедергісі сипаттамаларының сызықты еместігімен, сондай-ақ, энергия тұтынуды, бақылау нүктелеріндегі қысымды және сорғылардың ең үздік тиімділік нүктесінен (ВЕР) рұқсат етілген шектердегі жұмыс шарттарын бір мезгілде ескеруді қажет ететін мәселенің көп өлшемділігіне байланысты [4].

Жүргізілген зерттеулерді талдау. Соңғы жылдары қарастырылып отырған оңтайландыру есептерін шешу үшін жасанды интеллект әдістерінің белсенді дамуы байқалады [5].

Қолданыстағы генетикалық алгоритмдер

(ГА) көпөлшемді кеңістіктерде жаһандық оптимумды іздеуді жүзеге асыратын, сонымен бірге, локальді минимумдарға түсіп қалмайтын есептерде өзінің тиімділігін көрсетеді [6]. Сорғы станцияларын басқару үшін ГА-ны практикалық қолдану мәселелерін шешу бірқатар қиындықтармен байланысты, оларға: шешімдерді бағалаудың жоғары есептеу шығындары, алгоритм параметрлерін дәл баптау қажеттілігі, сондай-ақ, қолданыстағы басқару жүйелерімен интеграциялау қиындықтары жатады.

Генетикалық алгоритмдерді басқа оңтайландыру әдістерімен үйлестіретін гибридті тәсілдерге деген қызығушылықтың артуы [7] зерттеу нәтижелерімен расталады [8]. Бұл зерттеулер сорғы станциясын басқаруға бапталған түрлендірілген ГА-ны пайдалану кезінде энергия тұтынуды 5-7%-ға төмендету мүмкіндігін дәлелдейді [8].

Қол жеткізілген жетістіктерге қарамастан, жұмысы параллель сорғыларды басқару есептерін орындауға бағытталған ГА параметрлерін оңтайлы баптау мәселесі әлі де жеткіліксіз зерттелген күйінде қалып отыр. Дегенмен, популяция өлшемінің, будандастыру және мутация стратегияларының жинақталу жылдамдығы мен шешім сапасына әсері сияқты аспектілер қосымша эксперименттік зерттеуді талап ететінін атап өткен жөн.

Зерттеу әдістері. Зерттеу объектісі ретінде сорғы станциясынан 3 км қашықтықта орналасқан магистральдық құбырдың бақылау нүктесіндегі қысымды ұстап тұруға арналған, төрт параллельді Д630-90 орталықтан тепкіш сорғы агрегаты бар типтік жүйе таңдап алынды. Модель 1-суретте ұсынылған.

Matlab&Simulink (Simscape – Fluids – Hydraulics кітапханасы) ортасындағы сорғылардың параллель жұмысының имитациялық моделінің сипаттамасы алдыңғы жұмыста [9] егжей-тегжейлі қарастырылған. Барлық зерттеулер төрт сорғы агрегатының жиілік түрлендіргіштерінің оңтайлы жиіліктерін іздеу үшін MATLAB ортасында ГА қолдану арқылы жүргізілді. Бұл ретте мақсатты функция – энергияны минималды тұтыну және сорғылардың оңтайлы жұмыс аймағында жұмыс істеуін қамтамасыз ету шарттарында бақылау нүктесіндегі берілген қысымды ұстап тұру болып табылады.

Мақсатты функция үш компоненттің салмақталған қосындысы түрінде болады:

$$F(f) = \omega_p E_p(f) + \omega_e E_e(f) + \omega_z E_z(f),$$

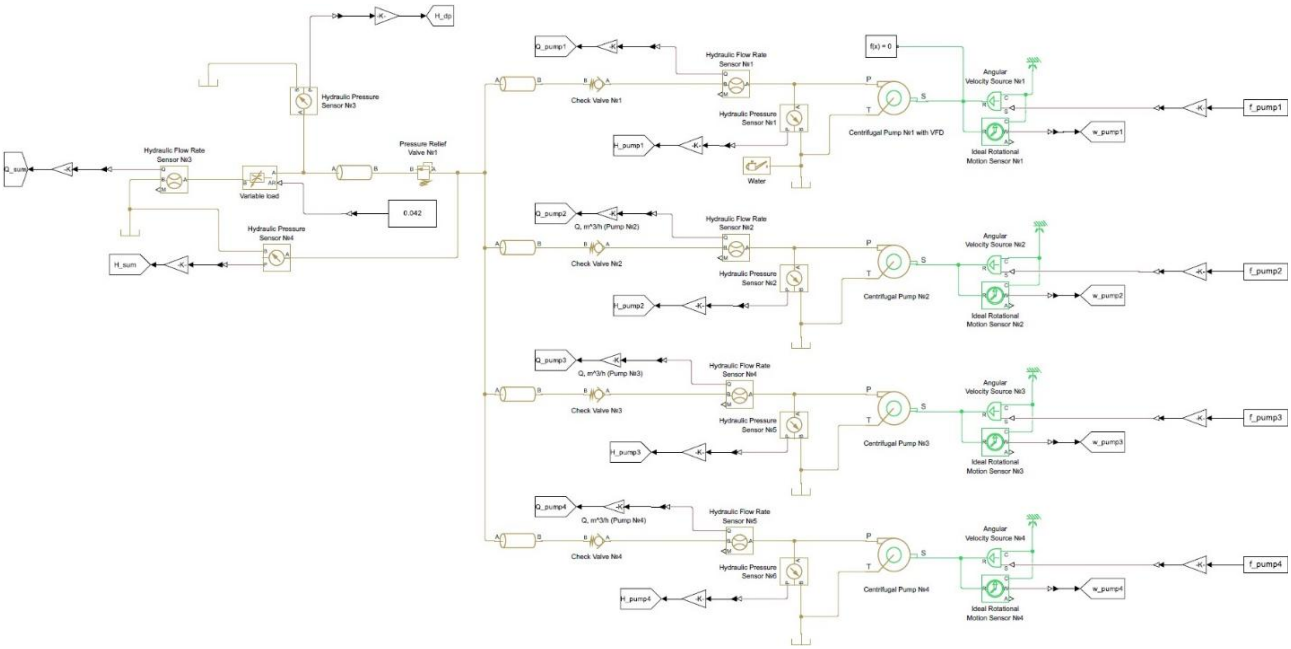
мұндағы f=[f_1+f_2+f_3+f_4] – сорғылар жиіліктерінің векторы, Гц, ω_p, ω_e, ω_z – салмақтық коэффициенттер, $E_p(f)$ – қысым қателігінің компоненті, $E_e(f)$ – энергия тұтыну компоненті, $E_z(f)$ – оңтайлы жұмыс аймағының компоненті.

Қысым қателігінің компоненті:

$$E_p(f) = \left| H_{target} - H_{actual} \right|,$$

мұндағы H_{target} – бақылау нүктесіндегі нысаналы қысым, м, H_{actual} – нақты қысым, м.

Энергия тұтыну компоненті:



1-сурет – Төрт параллельді сорғы агрегаты бар жүйе моделі

$$E_e(f) = \frac{\Sigma_{i=1}^{4} P_i(f)}{P_{\max}},$$

мұндағы $P_i(f)$ – і-ші сорғының қуаты, кВт, P_{max} = 800 кВт – жиынтық қуаттың максималды бағамы.

Оңтайлы жұмыс аймағының компоненті:

$$E_z(f) = \frac{\Sigma_{i=1}^{4} \psi_i(f)}{4},$$

мұндағы әрбір сорғыға арналған айыппұл функциясы:

$$\psi_i(f) = \psi_{Q,i}(f) + \psi_{H,i}(f),$$

мұндағы шығын және арын бойынша айыппұлдар, егер олар диапазонда болса, нөлге тең, әйтпесе:

$$\psi_{Q,i}(f) = \frac{|Q_i - Q_i^{\text{гр.}}(f_i)|}{Q_{nom}\left(\frac{f_i}{50}\right)},$$

$$\psi_{H,i}(f) = \frac{|H_i - H_i^{\text{гр.}}(f_i)|}{H_{nom}\left(\frac{f_i}{50}\right)^2}.$$

Оңтайлы жұмыс аймағы шекараларын масштабтауды есепке алу айнымалы айналу жылдамдығы кезіндегі сорғылардың ұқсастық формулаларына сәйкес жүзеге асырылды. Сорғылар оңтайлы аймақта болған жағдайда бонустар қолданылады.

Ғылыми нәтижелер. Осы қолданыста генетикалық алгоритмнің оңтайлы параметрлерін анықтау мақсатында төрт эксперимент жүргізілді.

1-эксперимент: Популяция өлшемінің генетикалық алгоритм тиімділігіне әсерін зерттеу.

Популяция өлшемдері 10, 15, 20, 25 және 30 дара болатын есептеулер жүргізілді. Әрбір популяция өлшемі үшін алгоритм ұрпақтардың белгіленген санымен (40) және будандастыру мен мутацияның бірдей параметрлерімен орындалды. Бағалау критерийлері ретінде соңғы қателік (қысымның нысаналы мәннен ауытқуы) және есептеуді орындау уақыты алынды.

Эксперимент алгоритм тиімділігінің популяция өлшеміне сызықты емес тәуелділігін анықтады. Популяцияны 10-нан 15 дараға дейін арттыру қателікті 45%-ға төмендетті, бірақ 30 дара кезінде жақсару байқалмады, ал есептеу уақыты дерлік сызықты түрде өсті. Нәтиже 2-суреттегі сол жақтағы графикте ұсынылған.

Біздің жағдайда іздеу кеңістігінің шектеулі өлшемділігі (4 айнымалы) және салыстырмалы түрде жатық мақсатты функция тіпті популяцияның орташа өлшемдерінде де алгоритмнің жылдам жинақталуын шарттастырды. 30 дараның орнына 15 дарадан тұратын популяцияны пайдалану дәлдігі іс жүзінде бірдей бола тұра, есептеу уақытын 60%-ға қысқартуға мүмкіндік береді.

2-эксперимент: Сорғы станцияларын оңтайландырудың ГА үшін будандастыру операторларының тиімділігін салыстыру.

MATLAB Global Optimization Toolbox-та іске асырылған будандастырудың төрт операторы зерттелді:

- Scattered – әр ата-анадан мұрагерленудің тең ықтималдығымен ата-аналық гендерді кездейсоқ құрамдастыру;
- Two Point – екі үзіліс нүктесінің арасындағы хромосома сегменттерімен алмасатын екі нүктелі кроссинговер;
- Single Point – классикалық бір нүктелі кроссинговер;
- Intermediate – 0.5 коэффициентімен ата-аналық гендерді арифметикалық орташаландыру.

Әрбір оператор 10 рет тестілеуден өткізілді.

«Scattered» және «Two Point» операторлары 0.3 минималды қателікпен ең үздік нәтижелерді көрсетті, бұл «Single Point»-пен (қателік 0.5) салыстырғанда 43%-ға және «Intermediate»-ке (қателік 2.1) қатысты 86%-ға жақсырақ. Нәтиже 2-суреттегі оң жақтағы графикте ұсынылған. Олардың іздеу кеңістігін зерттеу механизмі шешімдердің локальді паттерндерін бұзбай, генетикалық материалды тиімді құрамдастыруға мүмкіндік береді. Сорғылар жиіліктерін оңтайландыру есебінің мәнмәтінінде бұл генетикалық ақпаратпен алмасу кезінде жекелеген агрегаттар жиіліктерінің сәтті комбинацияларын сақтап қалуды білдіреді.

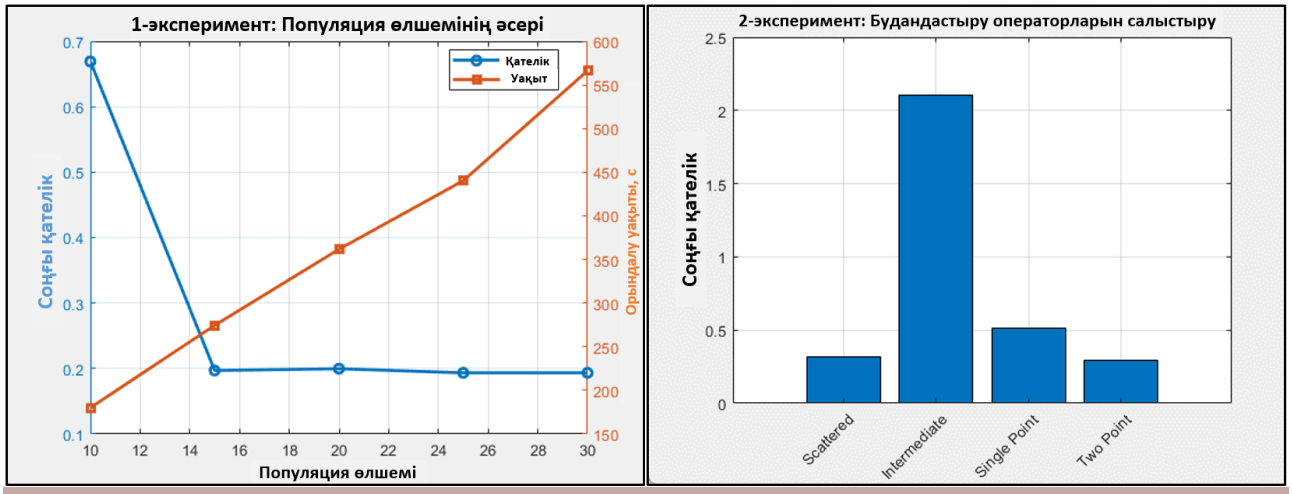
3-эксперимент: Мутация стратегияларының ГА тиімділігіне әсерін зерттеу.

Генетикалық материалға өзгерістер енгізудің әртүрлі механизмдері бар мутацияның төрт стратегиясы зерттелді:

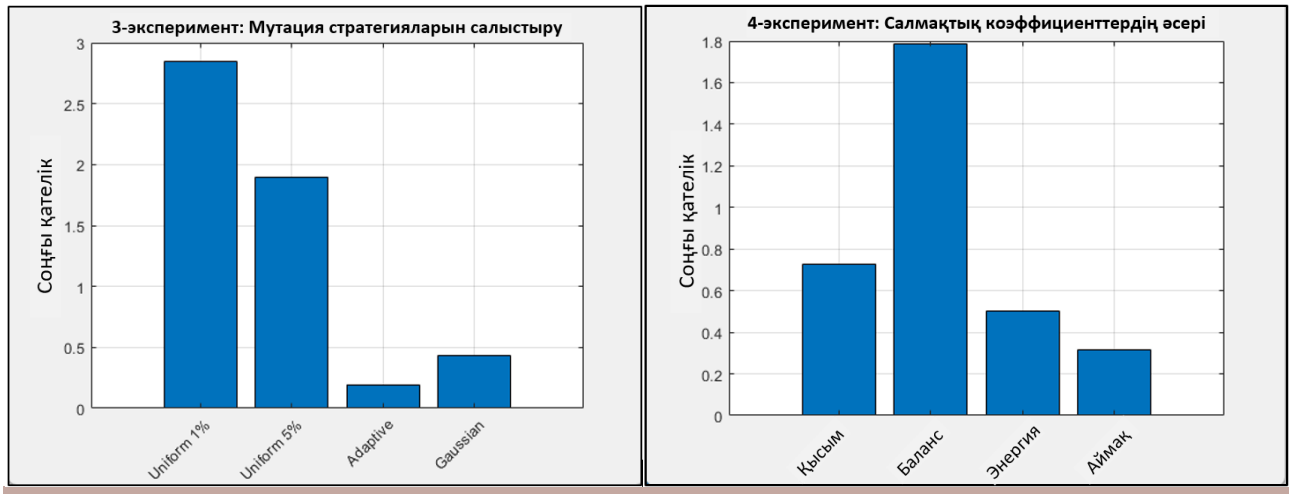
- Uniform 1% – төмен ықтималдығы бар (1%) бірқалыпты мутация;
- Uniform 5% – орташа ықтималдығы бар (5%) бірқалыпты мутация;
- Adaptive – қарқындылығын автоматты түрде реттейтін адаптивті мутация;
- Gaussian – өзгерістердің қалыпты үлестірімі бар гаусстық мутация.

Эксперимент алдыңғы зерттеулерде анықталған оңтайлы параметрлер кезінде жүргізілді. Салыстырудың дұрыстығын қамтамасыз ету үшін әрбір стратегия бірдей жағдайларда тестілеуден өткізілді. Нәтиже 3-суреттегі сол жақтағы графикте ұсынылған.

«Adaptive» мутациясы 0.2 қателікпен ең үздік нәтижені көрсетіп, «Uniform 1%»-дан



2-сурет – Популяция өлшемінің әсері және будандастыру операторларын салыстыру



3-сурет – Мутация стратегияларын салыстыру және салмақтық коэффициенттердің әсері

14 есе және «Uniform 5%»-дан 9 есе асып түсті. «Gaussian» мутациясы 0.4 қателікпен екінші орынды иеленді, бұл «Adaptive» тәсілінен екі есе нашар «Adaptive» мутациясының басты артықшылығы оның популяцияның алуантүрлілігі негізінде өзгерістер қарқындылығын динамикалық түрде реттеу қабілетінде жатыр.

«Uniform» стратегияларының төмен тиімділігі олардың статикалық сипатымен байланысты – мутацияның бекітілген ықтималдығы іздеудің ағымдағы күйіне бейімделмейді. «Gaussian» мутациясы жақсы нәтижелер көрсеткенімен, өзін-өзі реттеу механизмі жоқ болғандықтан, «adaptive» тәсіліне жол береді.

4-эксперимент: Мақсатты функциядағы критерийлерге басымдық берудің әсерін зерттеу.

Мақсатты функцияның бес түрлі конфигурациясы зерттелді, олардың әрқайсысында максималды салмақтық коэффициент келесі критерийлердің біріне тағайындалды:

1) Қысым – жүйедегі қысым тұрақтылығының басымдығы.

2) Баланс – үнсіз келісім бойынша конфигурация (бірқалыпты салмақтау немесе критерийлердің базалық жиынтығы).

3) Энергия – электр энергиясын тұтынуды минимизациялау басымдығы.

4) Аймақ – агрегаттар арасында жұмыс аймағын (жүктемені) бірқалыпты үлестіру басымдығы.

5) Соңғы қателік – нысаналы көрсеткішті орындаудың жалпы дәлдігінің басымдығы.

Эксперимент алдыңғы эксперименттердегі бекітілген оңтайлы параметрлері бар генетикалық алгоритмді қолдану арқылы

жүргізілді. Әрбір конфигурация бірдей жағдайларда тестілеуден өткізілді. Нәтиже 3-суреттегі оң жақтағы графикте ұсынылған.

Нәтижелер әртүрлі мақсатты критерийлер арасындағы айқын компромистерді анықтады. Соңғы қателіктің ең аз мәніне (0.3) «Аймақ» («Зона») критерийіне басымдық берген кезде қол жеткізілді, бұл жүктемені бөлудің біркелкілігін оңтайландыру жүйенің жалпы тапсырмасының ең дәл орындалуына жанама түрде әкелетінін дәлелдейді.

«Энергия» стратегиясы екінші нәтижені көрсетті (қателік 0.5), бұл жалпы дәлдікке айтарлықтай нұқсан келтірместен энергияны едәуір үнемдеу мүмкіндігін растайды. «Қысым» конфигурациясы, күткенге қарамастан, жүктеме мен энергияға бағдарланған тәсілдерге жол бере отырып, тек орташа нәтижені (қателік 0.75) көрсетті. Ең нашар нәтижені «Баланс» базалық конфигурациясы көрсетті (қателік 1.8), бұл бірқалыпты немесе стандартты салмақтарды пайдалануды орнына, негізгі критерийлерді мақсатты таңдау мен салмақтаудың аса маңыздылығын атап көрсетеді.

Алгоритмді оңтайлы параметрлермен соңғы іске қосу 50 ұрпақ ішінде мақсатты функцияның 0.193456 мәніне қол жеткізуге мүмкіндік берді, бұл шешімнің жоғары дәлдігін айғақтайды. Оңтайландыру нәтижесі 4-суретте көрсетілген.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу нәтижелері параллель сорғы агрегаттарының жиіліктерін оңтайландыру есебін шешетін ГА жұмысының тиімділігін растады. Эксперименттік жолмен шешім сапасы мен жинақталу жылдамдығы арасындағы теңгерімді қамтамасыз ететін ГА баптаудың оңтайлы параметрлері анықталды.

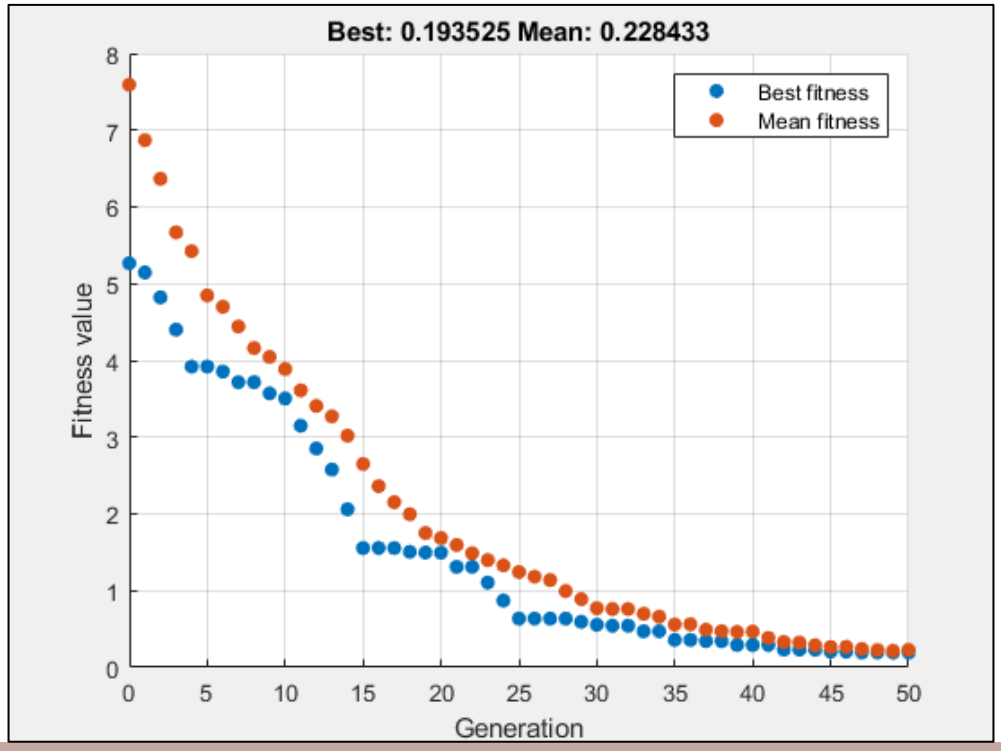
Жүргізілген эксперименттік зерттеулер негізгі ғылыми және практикалық нәтижелерді тұжырымдауға мүмкіндік берді:

1. Сорғы станцияларын басқару есептері үшін ГА-ның оңтайлы параметрлері анықталды.

2. Сорғы станциясы жұмысының үш сыни маңызды аспектісін: қысымды ұстап тұру дәлдігін, энергия тиімділігін және жабдықтың оңтайлы жұмыс аймақтарын сақтауды ескеретін тиімді мақсатты функция әзірленді.

3. Оңтайландыру критерийлері арасындағы компромистер анықталды: жүктемені бірқалыпты үлестіруге бағдарланған стратегия жалпы дәлдік бойынша ең жақсы нәтижелерді көрсетті.

Жүргізілген зерттеу жұмысының практикалық маңыздылығы сорғы станцияларын басқару жүйелерін баптау әдістемесін әзірлеуде жатыр, оны орындау оңтайлы аймақтарда жұмыс істеу есебінен жабдықтың сенімділігін арттыра отырып, энергия тұтынуды төмендетуге мүмкіндік береді.



4-сурет – Оңтайландырудың қорытынды нәтижесі

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Фащиленко В.Н. Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий: Учеб. пособие. – М.: Издательство «Горная книга», 2011. – 260. с.: ил.
2. Лезнов Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. – М.: Машиностроение, 2013. – 176 с.: ил.
3. Кахоров, Р.А., Джахонгири А., Шарифов С.К. Исследование энергоэффективности системы управления с параллельной работой насосных агрегатов // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. – 2020. – № 2-1 (72). – С. 38-43.
4. ГОСТ 33969-2016. Энергетическая эффективность. Оценка энергоэффективности насосных систем. – Введ. 2017-07-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 45 с.
5. Gan X., Pei J., Pavesi G., Yuan S., Wang W. Application of intelligent methods in energy efficiency enhancement of pump system: A review // Energy Reports. 2022. Vol. 8. Pp. 11592-11606.
6. Тарасенко В.В. Генетический алгоритм выбора распределённой генерации // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2010. – № 14. – С. 15-19.
7. Dashtdar M., et al. Improving the Power Quality of Island Microgrid With Voltage and Frequency Control Based on a Hybrid Genetic Algorithm and PSO // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – Pp. 105352-105365.
8. Sun X., Feng X. Application of intelligent algorithms in optimal operation of pumping stations // Journal of Physics: Conference Series. 2024. Vol. 2854. Art. 012044.
9. Косымбаев Р.Б., Булатбаева Ю.Ф., Цыпкина В.В., Иванова В.П., Булатбаев Ф.Н. Исследование системы управления насосными агрегатами при параллельной работе // Труды университета. – 2025. – № 2 (99). – С. 386-391.

Повышение энергоэффективности работы насосных агрегатов при параллельной работе с применением генетического алгоритма

*[1]**КОСЫМБАЕВ Рауан Болатович,** докторант, kosymbaev.r@gmail.com,*
*[1]**БУЛАТБАЕВА Юлия Феликсовна,** PhD, ассоциированный профессор, julia_my_angel@mail.ru,*
*[2]**ЦЫПКИНА Виктория Вячеславовна,** PhD, профессор, c-victory@yandex.com,*
*[2]**ИВАНОВА Вера Павловна,** PhD, доцент, veronika.tsipkina@yandex.com,*
*[1]**БУЛАТБАЕВ Феликс Назымович,** к.т.н., ассоциированный профессор, felix4965@mail.ru,*
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, ул. Университетская, 2, Ташкент, Узбекистан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Рассматриваются вопросы применения генетического алгоритма для повышения энергоэффективности и надежности работы насосных агрегатов при параллельной работе. Моделирование выполнено в среде Matlab&Simulink, что позволило подробно проанализировать динамику параллельной работы центробежных насосов. Управляющими воздействиями выступали частоты четырех приводов, а критериями – поддержание требуемого давления при минимизации суммарной мощности и соблюдении гидравлических ограничений. Проведена серия вычислительных экспериментов, демонстрирующая, как настройки операторов и весов целевой функции влияют на скорость сходимости и качество решения. Полученные результаты показывают устойчивое снижение энергопотребления при сохранении надежности режима. На основе анализа предложены практические рекомендации по выбору параметров генетического алгоритма для задач оптимизации насосных систем.*

***Ключевые слова:** генетический алгоритм, настройка параметров, параллельные насосы, оптимизация, MATLAB, эксперименты, сходимость алгоритма.*

Enhancing the Energy Efficiency of Parallel-operated Pump Units Via a Genetic Algorithm

[1]***KOSYMBAYEV Rauan**, Doctoral Student, kosymbaev.r@gmail.com,*
*[1]**BULATBAYEVA Yulia,** PhD, Associate Professor, julia_my_angel@mail.ru,*
*[2]**TSYPKINA Victoria,** PhD, Professor, c-victory@yandex.com,*
*[2]**IVANOVA Vera,** PhD, Associate Professor, veronika.tsipkina@yandex.com,*
*[1]**BULATBAYEV Felix,** Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, felix4965@mail.ru,*
[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 2 University Street, Tashkent, Uzbekistan,
**corresponding author.*

***Abstract.** The article examines the application of a genetic algorithm to improve the energy efficiency and reliability of pump units operating in parallel. Modeling was carried out in the Matlab&Simulink environment, enabling a detailed analysis of the dynamics of parallel operation of centrifugal pumps. The control inputs were the frequencies of four drives, and the criteria were maintaining the required pressure while minimizing total power and observing hydraulic constraints. A series of computational experiments demonstrated how operator settings and objective-function weights affect convergence speed and solution quality. The results show a stable reduction in energy consumption while preserving operating reliability. Based on the analysis, practical recommendations are proposed for selecting genetic-algorithm parameters for pump-system optimization tasks.*

***Keywords:** genetic algorithm, parameter tuning, parallel pumps, optimization, MATLAB, experiments, algorithm convergence.*

REFERENCES

1. Fashchilenko V.N. Reguliruemyj elektroprivod nasosnyh i ventilyatornyh ustanovok gornyh predpriyatij: uchebnoe posobie [Variable electric drive of pumping and fan installations of mining enterprises]. Moscow: Gornaya kniga Publ., 2011. 260 p.
2. Leznov B.S. Chastotno-reguliruemyj elektroprivod nasosnyh ustanovok [Frequency-controlled electric drive of pumping installations]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2013. 176 p.
3. Kakhorov R.A., Dzhakhongiri A., Sharifov S.K. Issledovanie energoeffektivnosti sistemy upravleniya s parallelnoy rabotoy nasosnykh agregatov [Study of energy efficiency of control system with parallel operation of pumping units]. Vestnik Bokhtarskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Nosira Khusrava. Seriya estestvennykh nauk [Bulletin of Bokhtar State University named after Nosir Khusrav. Natural Sciences Series], 2020, no. 2-1 (72), pp. 38-43.
4. GOST 33969-2016. Energy efficiency. Evaluation of energy efficiency of pumping systems. Moscow: Standartinform, 2016. 45 p.
5. Gan X., Pei J., Pavesi G., Yuan S., Wang W. Application of intelligent methods in energy efficiency enhancement of pump system: A review. Energy Reports, 2022, vol. 8, pp. 11592-11606.
6. Tarasenko V.V. Geneticheskij algoritm vybora raspredelennoj generacii [Genetic algorithm for distributed generation selection]. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika [Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering], 2010, no. 14, pp. 15-19.
7. Dashtdar M., Bajaj M., Hosseinimoghadam S.M.S., Sami I., Chaturvedi A., K.R., et al. Improving the Power Quality of Island Microgrid With Voltage and Frequency Control Based on a Hybrid Genetic Algorithm and PSO. IEEE Access, 2022, vol. 10, pp. 105352-105365.
8. Sun X., Feng X. Application of intelligent algorithms in optimal operation of pumping stations. Journal of Physics: Conference Series, 2024, vol. 2854, art. 012044.
9. Kosymbaev R.B., Bulatbaeva Yu.F., Tsypkina V.V., Ivanova V.P., Bulatbaev F.N. Issledovanie sistemy upravleniya nasosnymi agregatami pri parallel'noj rabote [Research of control system for pumping units in parallel operation]. Trudy universiteta [University Proceedings], 2025, no. 2 (99), pp. 386-391.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_404 ӘОЖ 621.313

Барабанды қайшының көп массалы электр механикалық бөлігін математикалық модельдеу

[1]***БАТЫРБЕК Әлібек Есімбекұлы,** докторант, a.batyrbek@tttu.edu.kz,
[1]**СИВЯКОВА Галина Александровна,** т.ғ.к., доцент, g.sivyakova@tttu.edu.kz,
[2]**СМАГУЛОВА Каршига Канатовна,** PhD, доцент, k.k.smagulova@ktu.edu.kz,
[2]**СМАЙЛ Арайлым Асылханқызы,** докторант, arailym1997s@gmail.com,
[1]«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қазақстан,
[2]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Металл илемдеуде қолданылатын барабанды қайшылардың көп массалы электр механикалық бөлігін математикалық модельдеу қарастырылады. Зерттеу мақсаты – жүйенің динамикалық сипаттамаларын талдауға және оның параметрлерін оңтайландыруға мүмкіндік беретін барабанды қайшылардың көп массалы механикалық бөлігінің математикалық моделін жасау. Жұмыста серпімді байланыстар мен ішкі үйкелісті ескеретін УКЖО-1700 үздіксіз кең жолақты орнағының («Qarmet» АҚ, Теміртау қ.) барабанды қайшыларының механикалық бөлігінің алты массалық математикалық моделі әзірленді. Агрегаттың техникалық құжаттамасын талдау негізінде жеңілдетілген кинематикалық схема синтезделді. Жүйедегі физикалық процестерді формализациялау жетектің электр механикалық динамикасын сипаттайтын сызықтық емес дифференциалдық теңдеулер жүйесі құрылды. Бұл жүйенің сандық шешімі MATLAB/Simulink ортасында жүзеге асырылды. Әзірленген модель барабанды қайшылардың механикалық бөлігінің динамикалық сипаттамаларын жеткілікті түрде сипаттайды.*

Кілт сөздер: *модельдеу, көп массалы жүйе, электр механикалық жүйе, электр жетегі, ыстық илектеу орнағы, серпімді байланыстар, барабанды ұшқыр қайшылар.*

Кіріспе. Барабанды қайшылар – бұл металлургия өндірісіндегі маңызды жабдық, ол технологиялық процесті тоқтатпай қозғалатын металл жаймаларын жоғары жылдамдықты көлденең кесілуін қамтамасыз етеді. Өнім сапасына, өнімділікке және энергия тиімділігіне қойылатын талаптардың үнемі өсуімен сипатталатын заманауи өндіріс жағдайында осы жабдықтың механикалық бөлігіндегі динамикалық процестерді дәл модельдеу және талдау міндеттері ерекше өзекті болып табылады. Барабанды қайшының механикалық бөлігі-электр жетегі, редуктор, барабан пышақтары және басқа элементтерді қамтитын күрделі көп массалы жүйе. Өндірістік қайшылар жұмыс істеп тұрған кезде қозғалатын массаның мөлшері мен инерция моменті өзгеруі мүмкін, бұл бүкіл жүйенің динамикасы мен статикасына әсер етеді. Мұның бәрі автоматты басқару жүйелерін талдау мен синтездеудің күрделілігіне алып келеді, сондықтан көп массалы электр механикалық барабанды қайшы жүйелерінің математикалық модельдерін жасау өзекті мәселе болып табылады.

Зерттеу нысаны – «Qarmet» АҚ №1 қаңылтыр қақтау цехының ыстық илектеу орнағының барабанды қайшылары [1].

Зерттеудің идеясы металды кесу процесін тиімді басқаруды қамтамасыз ететін барабанды қайшылардың көп массалы механикалық бөлігінің математикалық моделін жасау болып табылады.

Барабанды қайшы құрылымының бір ерекшелігі асимметриялығы, яғни әртүрлі диаметрлі барабандарды қолданумен байланысты. Бұл фактор электр механикалық жүйеде серпімді байланыстардың болуымен қатар жұмыс параметрлерін оңтайландыру үшін қосымша зерттеуді қажет етеді.

Әр түрлі күрделіліктегі электр механикалық жүйелердің жұмысына серпімді беріліс-тердің әсерін зерттеуге байланысты көптеген жұмыстар белгілі.

Olena Nazarova жұмысында [2] бірінші және екінші ретті серпімді байланыстарды ескере отырып, көп массалы электр механикалық жүйенің моделін жасады, зерттеу

суық илектеу орнағының жетек жабдықтарының мысалында сыналды. Модельдеу нәтижелерін операциялық деректермен салыстыру арқылы модельді тексеру оның сәйкестігін көрсетеді (максималды салыстырмалы қателік 9%-дан аспайды). Алынған нәтижелер ұқсас механикалық жүйелердің электр жетектерін автоматтандырылған басқарудың қолданыстағы жүйелерін жаңарту және жаңа жүйелерін жобалау кезінде қолданылуы мүмкін.

Kaniuk [3] зерттеуді жасанды интеллект арқылы күрделі электр механикалық жүйелерді анықтауға арнады. Авторлар MATLAB құралдарын қолдана отырып, нейрондық желілерге, бұлыңғыр логикаға және олардың гибридті комбинацияларына негізделген модельдер жасады. Бұл тәсілдер, әсіресе адаптивті нейро-бұлыңғыр жүйелер 2-4% аралығында сәйкестендіру дәлдігін қамтамасыз ететіні көрсетілген. Нәтижелер кіріс және шығыс деректеріне негізделген күрделі кинематикалық байланыстары бар техникалық жүйелердің модельдерін жасау үшін осы әдістердің тиімділігін растайды. Мұндай модельдерді қолдану жүйенің жұмысын жақсарту үшін реттегіштерді жобалауда пайдалы болуы мүмкін.

Aboah [4] өнеркәсіптегі электр механикалық жүйелерге тән мәселелерді қарастырады, мысалы, демпферлік үйкеліс, серпімді байланыс және олардың өнімділігін шектейтін алшақтық. Авторлар толық талдау үшін бес массалық модель әзірледі және модельдеу үшін MATLAB/Simulink-те математикалық модельді жасады. Модельдеу нәтижелері серпімді байланыс пен алшақтықтың әсерімен салыстырғанда бес массалық жүйенің тиімділігіне әсер ететін ең маңызды фактор ретінде демпферлік үйкелістің маңыздылығын растады.

Lukichev зерттеуінде [5] бұлыңғыр кооперативтік коэволюцияға негізделген адаптивті басқаруды зерттейді. Әдіс адаптивті бұлыңғыр реттегіштің параметрлерін анықтау үшін генетикалық алгоритмді қолданады. Зерттеу серпімді элементтері бар көп массалы жетек жүйесіне бағытталған және бұлыңғыр басқарудың тиімділігіне дәстүрлі ПИД-реттегішімен салыстырады. Нәтижесінде ұсынылған тәсіл қозғалтқыштың жағдайы туралы ақпаратты ғана пайдалана отырып, төмен жылдамдықтағы құрғақ үйкелістен туындайтын бұралу тербелістерін басуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Әдістің тиімділігі MATLAB/Simulink-те модельдеумен де, нақты тәжірибелермен де дәлелденген.

Luczak [6] көп массалы электр жетек жүйелеріндегі механикалық резонансты анықтау үшін ең кіші квадраттардың сызықтық емес әдісін қолдануды қарастырды. Ұсынылған тәсіл сызықтық динамикалық жүйелердің артта қалған параметрлерін анықтау үшін сәтті қолданылды. Авторлар әдістің тиімділігін әртүрлі сынақ сигналдарын қолдана отырып, жалған кездейсоқ екілік сигнал және чирп толқынын зерттеді.

Заманауи зерттеулерді талдау көрсеткендей, серпімді байланысы бар көп массалы электр механикалық жүйелерді модельдеу автоматты басқару теориясы мен электр жетегінің маңызды бағыты болып табылады. Әдебиеттерде инерцияны, демпферді және біліктердің серпімді деформациясын ескере отырып жүйелерді сипаттайтын бір, екі және үш массалы модельдер жиі кездеседі. Алайда, күрделі өндірістік қондырғыларда, мысалы, барабанды қайшылар көп массалы модельдерді (төрт, бес массалы және одан жоғары) әзірлеу қажеттілігін тудыратын динамиканың егжей-тегжейлі көрінісін қажет етеді. Заманауи зерттеулер өнеркәсіптік электр механикалық жүйелердің тиімділігі мен сенімділігін арттыру үшін қажет серпімді байланыстарды, сызықтық емес және көп жиілікті тербелістерді ескеретін дәлірек және күрделі модельдерді жасауға тырысады.

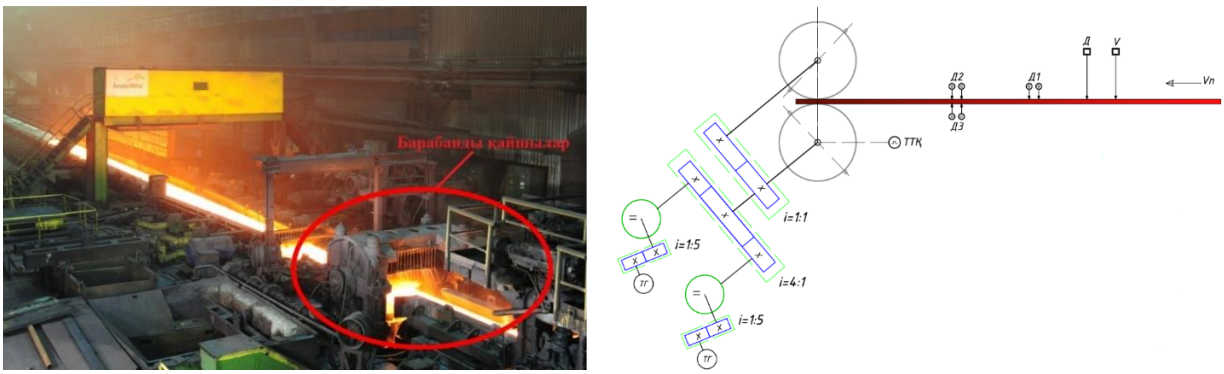
Зерттеу материалдары мен әдістері

Барабанды қайшылар 1700 үздіксіз кең жолақты ыстық илемдеу орнағының аяқтау тобының алдына орнатылады және жайма жолағының алдыңғы және артқы ұштарын кесуге, содан кейін жайманы ыстықтай илемдеуге (дайын өнім) айналдыруға арналған [7].

ҮКЖО-1700 ыстық илемдеу барабанды қайшының электр жетегі ретінде қазіргі уақытта тәуелсіз қоздыруы бар тұрақты токтың тиристорлық электр жетегі қолданылады. Қайшы жетегі екі тұрақты ток электр қозғалтқышынан, цилиндрлік беріліс редукторы арқылы жүзеге асырылады. Тұрақты токтың жетек қозғалтқышы ретінде тәуелсіз қоздыру П19-75-7К типті екі зәкірлі тұрақты ток электр қозғалтқышы қолданылады [8]. Жолақты кесу кезіндегі қайшының жалпы көрінісі және барабанды қайшылардың технологиялық схемасы 1-суретте көрсетілген. Барабанды қайшылардың және қозғалтқыштың техникалық сипаттамалары 1-2-кестелерде көрсетілген.

Қолда бар техникалық құжаттаманың негізінде 2-суретте көрсетілген «Qarmet» АҚ №1 қаңылтырды қақтау цехының «1700» ыстық илемдеу орнағында орнатылған барабанды қайшылардың негізгі механикалық жабдықтарын орналастыру сызбасы әзірленді.

Қайшы барабандарының әртүрлі диаметрлеріне байланысты бұл құрылымның асимметриясы ерекше назар аударады. Барабанды қайшының электр механикалық жүйесінің маңызды ерекшеліктерінің бірі-



а) б)

ТТҚ – тұрақты тоқ қозғалтқышы; Д1, Д2 – жолақтың бар екендігін тексеретін датчиктер;
Д3 – жолақты тексеретін датчик (DELTA IRIS); Vn – клеттің жылдамдығы; ТГ – тахогенератор

1-сурет – Жолақты кесу кезіндегі қайшының жалпы көрінісі (а) және барабанды қайшылардың технологиялық схемасы (б)

1-кесте – Барабан қайшыларының техникалық және технологиялық деректері

Шамалардың атауы	Өлшем бірлігі	Шамасы
Кесілетін жолақтың қалыңдығы	мм	20÷45
Кесілетін жолақтың ені	мм	700÷1550
Жылдамдығы	м/сек	0,58÷2
Температурасы	°С	900
Ең үлкен нақты кесу жұмысы 900°С	кг*мм/мм^3	4
Жоғарғы пышақтың көлбеуі (бір бұрышты)	-	1/28,4
Есептелген кесу күші	тн	350
Кесу күшінен ең үлкен есептік моменті (жетек білігінде)	тм	150
Пышақтардың жиектеріндегі барабандардың диаметрі: Жоғарғы Төменгі	 мм мм	 1130/1020 1000

2-кесте – Барабанды қайшының жетек қозғалтқышының техникалық сипаттамалары

Шамалардың атауы	Шамасы
Түрі	П19-75-7К
Номиналды қуаты, кВт	1750
Айналу жиілігі, айн/мин	190
Кернеу, В	600
Номиналды ток, А	2980
Номиналды момент, Н·м	92000
Полюс жұптарының саны	8

серпімді байланыстардың болуы [9].

Барабан жетегі, кинематикалық беріліс серпімді буын рөлін атқаратын екі массалы электр механикалық жүйе. Мұндай жүйелер бірінші типтегі серпімді жүйелер ретінде жіктеледі [10].

Барабанды қайшылардың механикалық бөлігінің есептелген алты массалық кинематикалық схемасы 3-суретте көрсетілген.

3-суретте келтірілген схема негізіндегі кинематикалық тізбектің жеке массаларының қозғалыс теңдеулерін жазу оңай және келесі дифференциалдық теңдеулер бойынша есептеуге болады:

Нәтижелер және оларды талқылау

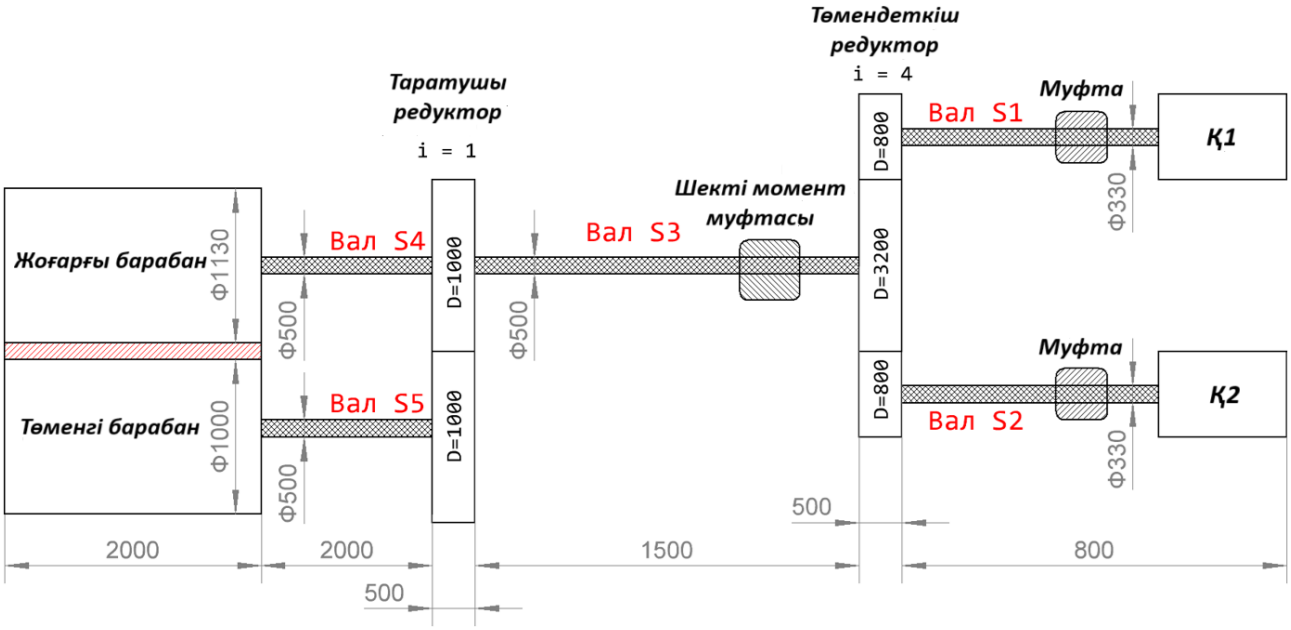
1 және 2-кестедегі деректерді, сондай-ақ, 2-суреттегі жабдықтың өлшемдерін қолдана отырып, 3-суреттегі есептеу схемасы элементтерінің сандық мәндерін есептейміз. Алынған нәтижелер 3-кестеде келтірілген.

Дифференциалдық теңдеулер жүйесінің нәтижелерін қолдана отырып, MATLAB/Simulink ортасында алты массалық механикалық барабанды қайшы жүйесінің теңдеулері құрастырылды (4-сурет).

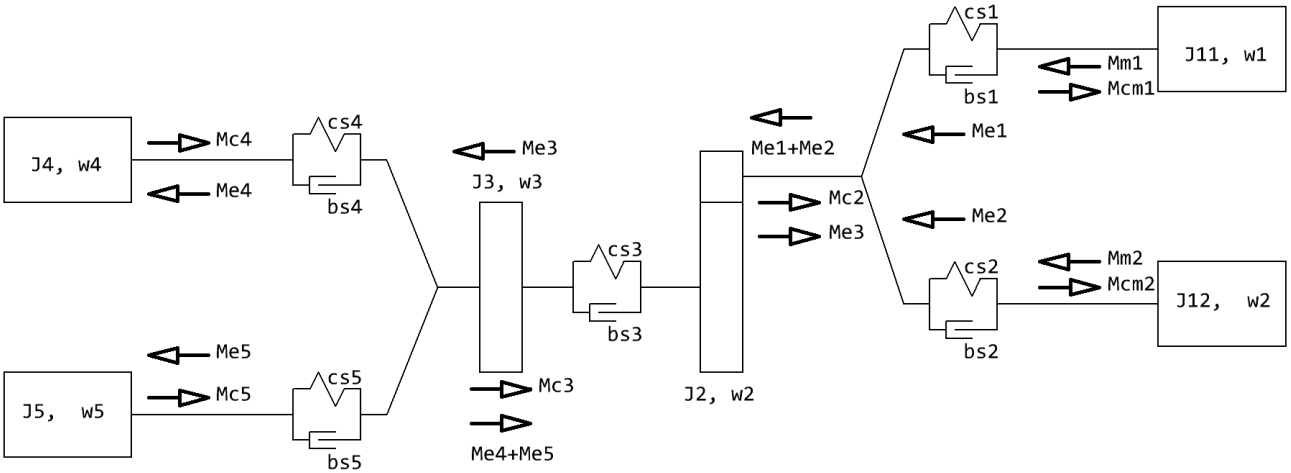
MATLAB/Simulink ортасында жасалған барабанды қайшының механикалық бөлігінің математикалық моделі оның статикалық және динамикалық сипаттамаларын сипаттайды. Модель тексеруден сәтті өтті, бұл қабылданған жеңілдетулердің, құрастырылған дифференциалдық теңдеулердің және таңдалған параметрлердің дұрыстығын растайды.

Қорытынды

Барабан қайшыларының динамикасын егжей-тегжейлі талдау зерттелетін нысанның механикалық бөлігінің жұмысын, оның ішінде, қарсылық күштерінің қалыптасу ерекшеліктерін, көп массалы механикалық бөліктегі серпімді байланыстарды ескеруді жеткілікті терең талдауды қажет етеді. Барабан қайшыларының динамикасын дәлірек талдау үшін жеке құрылымдық элементтер арасындағы серпімді байланыстардың әсерін ескере отырып, алты массалық механикалық жүйенің математикалық моделі жасалды.



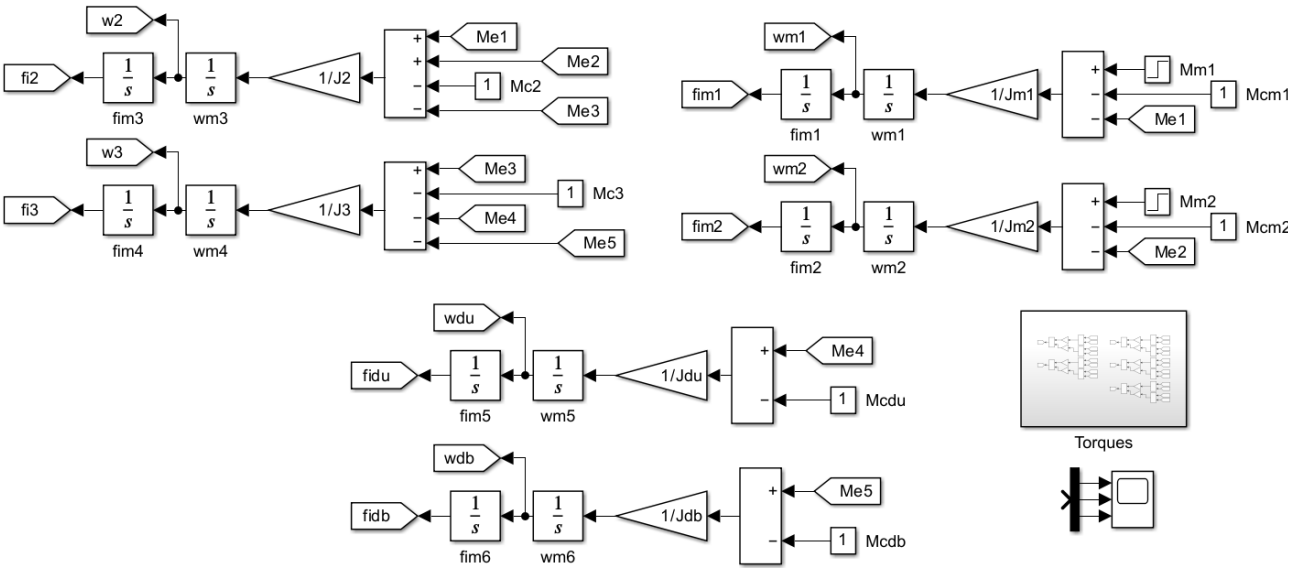
2-сурет – Барабанды қайшының механикалық бөлігінің жабдықтарын қосудың жеңілдетілген схемасы



3-сурет – Барабанды қайшылардың механикалық бөлігінің алты массалық кинематикалық схемасы

3-кесте – Барабанды қайшының механикалық бөлігінің математикалық моделінің параметрлері

№	Шамалардың атауы	Өлшем бірлігі	Шамасы, кГм²
1	1 және 2 біліктердің инерция моменті қосқыш муфтаны ескере отырып	J_{S1}, J_{S2}	8
2	3 біліктің инерция моменті шекті моменттің муфтасын ескере отырып	J_{S3}	79
3	4 және 5 біліктердің инерция моменті қосқыш муфтаны ескере отырып	J_{S4}, J_{S5}	105.3
4	Тісті дөңгелек D = 800 мм	$J_{G0.8}$	156.83
5	Тісті дөңгелек D = 320 мм	$J_{G3.2}$	40150
6	Тісті дөңгелек D = 1000 мм	$J_{G1.0}$	382.9
7	Жоғарғы барабанның инерция моменті	J_{DU}	1657.8
8	Төменгі барабанның инерция моменті	J_{DB}	1531.5
9	1 және 2 біліктердің қаттылық коэффициенттері	cs1, cs2	1.1643·108
10	3 біліктің қаттылық коэффициенті	cs3	3.2725·108
11	4 және 5 біліктердің қаттылық коэффициенттері	cs4, cs5	2.4544·108



4-сурет – MATLAB/Simulink ортасында алты массалық механикалық барабанды қайшының теңдеулер жүйесі

«Qarmet» АҚ ҮКЖО-1700 үздіксіз кең жолақты орнағының барабанды қайшыларының алты массалық механикалық бөлігінің серпімді байланыстар мен ішкі тұтқыр үйкелістің әсерін ескеретін математикалық моделі әзірленді. Әзірленген модель барабанды қайшының электр жетегінің динамикалық сипаттамаларын тереңінен зерттеуге мүмкіндік береді.

Әрі қарай зерттеу бағыты MATLAB/Simulink ортасында барабан қайшыларының тұрақты ток тиристорлық электр жетегі бар электр механикалық жүйесінің математикалық моделін жүзеге асыру.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Official website JSC «Qarmet». – [Electronic resource]. – URL: https://qarmet.kz. (Date of request 02.09.2025).

2. Nazarova O. Computer Modeling of Multi-Mass Electromechanical Systems // Computer Modeling and Intelligent Systems. – 2020. – 2608. DOI: 10.32782/cmis/2608-36.
3. Kaniuk G., Vasylets T., Varfolomiyev O., Mezeria A., Antonenko N. Development of neural-network and fuzzy models of multimass electromechanical systems // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – № 3/2 (99). – Pp. 51-63. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.169080.
4. Aboah B.E., Normanyo E. Investigating Efficiency of a Five-Mass Electromechanical System having Damping Friction, Elastic Coupling and Clearance // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2017. – Volume 6. – Pp. 94-98.
5. Lukichev D.V., Demidova G.L., Brock S. Application of fuzzy cooperative coevolution adaptive control for damping of torsional vibrations in multi-mass drive system // In: 19th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'17 ECCE Europe), Warsaw. – 2017. – Pp. 1-10. DOI: 10.23919/EPE17ECCEEurope.2017.8099208.
6. Łuczak D., Zawirski K. Parametric identification of multi-mass mechanical systems in electrical drives using nonlinear least squares method // IECON 2015 – 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – 2015. – 004046-004051. DOI: 10.1109/IECON.2015.7392730.
7. Климушкин А.Н. Горячая прокатка полос в листопрокатном цехе № 1 // Технологическая инструкция. – Темиртау. – 2017. – 125 с.
8. Батырбек Ә.Е., Сивякова Г.А. Ыстық илемдеу орнағының ұшпа қайшысының электр жетегін автоматты реттеу жүйесі // Торайғыров университетінің хабаршысы. Энергетикалық сериясы № 4. – 2024. – С. 19-31. https://doi.org/10.48081/GGXQ5661
9. Valeriy D., Valerii T., Petro K., Oleksii C., Galina S., Alexey K., Victor B. Electric drive excitation control for improved performance of hot rolling mill finishing groups // ENERGETIKA. – 2025. – Vol. 71. – Nr. 1. – Pp. 50-62 https://doi.org/10.6001/energetika.2025.71.1.4.
10. Rubaai A., Young P. Hardware/Software Implementation of Fuzzy Neural Network Self-Learning Control Methods for Brushless DC Motor Drives // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2015. – № 52. – 414-424. https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2468191.

Математическое моделирование многомассовой электромеханической части барабанных ножниц

[1]*БАТЫРБЕК Әлібек Есімбекұлы, *докторант, a.batyrbek@tttu.edu.kz,*
[1]СИВЯКОВА Галина Александровна, *к.т.н., доцент, g.sivyakova@tttu.edu.kz,*
[2]СМАГУЛОВА Каршига Канатовна, *PhD, доцент, k.k.smagulova@ktu.edu.kz,*
[2]СМАЙЛ Арайлым Асылханқызы, *докторант, arailym1997s@gmail.com,*
[1]НАО «Карагандинский индустриальный университет», пр. Республики, 30, Темиртау, Казахстан,
[2]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассматривается математическое моделирование многомассовой механической части барабанных летучих ножниц, используемых в металлопрокатном производстве. Целью исследования является разработка математической модели многомассовой механической части барабанных ножниц, позволяющей анализировать динамические характеристики системы и оптимизировать ее параметры. Разработана математическая модель шестимассовой механической части барабанных ножниц непрерывного широкополосного стана НШПС-1700 (АО «Qarmet», г. Темиртау), учитывающая упругие связи и внутреннее вязкое трение. На основе анализа конструктивной документации агрегата были синтезированы упрощенная кинематическая схема. Формализация физических процессов в системе позволила составить систему нелинейных дифференциальных уравнений, адекватно описывающих электромеханическую динамику привода. Численное решение данной системы было реализовано в среде MATLAB/Simulink. Разработанная модель адекватно описывает динамические характеристики механической части барабанных ножниц.*

Ключевые слова: *моделирование, многомассовая система, электромеханическая система, электропривод, стан горячей прокатки, упругие связи, барабанные летучие ножницы.*

Mathematical Modeling of a Multi-mass Electromechanical Part of a Drum Shear

[1]*BARTYRBEK Alibek, *Doctoral Student, a.batyrbek@tttu.edu.kz,*
[1]SIVYAKOVA Galina, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, g.sivyakova@tttu.edu.kz,*
[2]SMAGULOVA Karshiga, *PhD, Associate Professor, k.k.smagulova@ktu.edu.kz,*
[2]SMAIL Arailym, *Doctoral Student, arailym1997s@gmail.com,*
[1]NPJSC «Karaganda Industrial University», 30 Republic Avenue, Temirtau, Kazakhstan,
[2]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *This article examines mathematical modeling of the multi-mass mechanical component of drum-type flying shears used in metal rolling mills. The aim of the study is to develop a mathematical model of the multi-mass mechanical component of drum-type shears, enabling the analysis of the system's dynamic characteristics and optimization of its parameters. A mathematical model of the six-mass mechanical component of drum-type shears used in the CWBRM-1700 continuous wide-strip mill (JSC «Qarmet», Temirtau) has been developed, taking into account elastic constraints and internal viscous friction. A simplified kinematic diagram was developed based on an analysis of the unit's design documentation. Formalization of the physical processes in the system allowed for the creation of a system of nonlinear differential equations that adequately describe the electromechanical dynamics of the drive. The numerical solution to this system was implemented in MATLAB/Simulink. The developed model adequately describes the dynamic characteristics of the drum-type shears' mechanical component.*

Keywords: *modeling, multi-mass system, electromechanical system, electric drive, hot rolling mill, elastic connections, drum flying shears.*

REFERENCES

1. Official website JSC «Qarmet». – [Electronic resource]. – URL: https://qarmet.kz. (Date of request 02.09.2025).
2. Nazarova O. Computer Modeling of Multi-Mass Electromechanical Systems // Computer Modeling and Intelligent Systems. – 2020. – 2608. DOI: 10.32782/cmis/2608-36.
3. Kaniuk G., Vasylets T., Varfolomiyev O., Mezeria A., Antonenko N. Development of neural-network and fuzzy models of multimass electromechanical systems // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – № 3/2 (99). – Pp. 51-63. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.169080.
4. Aboah B.E., Normanyo E. Investigating Efficiency of a Five-Mass Electromechanical System having Damping Friction, Elastic Coupling and Clearance // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2017. – Volume 6. – Pp. 94-98.
5. Lukichev D.V., Demidova G.L., Brock S. Application of fuzzy cooperative coevolution adaptive control for damping of torsional vibrations in multi-mass drive system // In: 19th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'17 ECCE Europe), Warsaw. – 2017. – Pp. 1-10. DOI: 10.23919/EPE17ECCEEurope.2017.8099208.
6. Łuczak D., Zawirski K. Parametric identification of multi-mass mechanical systems in electrical drives using nonlinear least squares method // IECON 2015 – 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – 2015. – 004046-004051. DOI: 10.1109/IECON.2015.7392730.
7. Klımýshkın A.N. Goráchaıa prokatka polos v lıstoprokatnom sehe №1 // Tehnologıcheskaıa ınstrýksıa. – Temırtaý. – 2017. – 125 p.
8. Batyrbek A.Y., Sivyakova G.A. Ystyq ılemdeý ornaǵynyń ushpa qaıshysynyń elektr jetegin avtomatty retteý júıesi // Toraıǵyrov ýnıversıtetiniń habarshysy. Energetıkalyq serıasy № 4. – 2024. – Pp. 19-31. https://doi.org/10.48081/GGXQ5661.
9. Valeriy D., Valerii T., Petro K., Oleksii C., Galina S., Alexey K., Victor B. Electric drive excitation control for improved performance of hot rolling mill finishing groups // ENERGETIKA. – 2025. – Vol. 71. – No. 1. – Pp. 50-62. https://doi.org/10.6001/energetika.2025.71.1.4.
10. Rubaai A., Young P. Hardware/Software Implementation of Fuzzy Neural Network Self-Learning Control Methods for Brushless DC Motor Drives // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2015. – № 52. – 414-424. https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2468191.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_411 ӘОЖ 621.565; 66-975

Тоңазытқыш камераларды валидациялық сынау әдістерін талдау және олардың қиын жағдайларда жабдықтың тұрақты жұмысын қамтамасыз етудегі рөлі

САХИЛАЕВА Дильназ Берікқызы, *магистрант, dsahilaeva@mail.ru,*
БАЙХОЖАЕВА Бахыткуль Узаковна, *т.ғ.д., кафедра меңгерушісі, bajxozhaeva630529@gmail.com,*
КОКАЕВ Умиржан Шералиевич, *т.ғ.к., декан, kokayev_ush@enu.kz,*
****КИЛИБАЕВ Еркебулан Омирлиевич,*** *т.ғ.к., доцент, 1k.e.o_77@mail.ru,*
АХМЕТ Аягөз Әсілханқызы, *оқытушы, ayagoz071099@gmail.com,*
«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

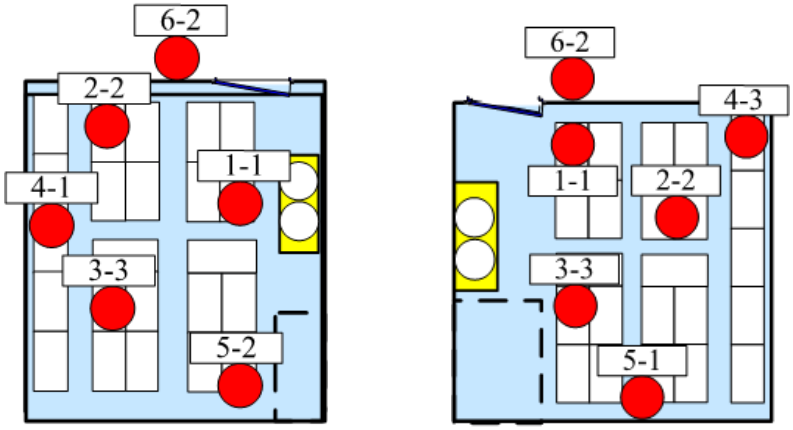
Аңдатпа. *Суық тізбекті тауарларды сақтау мен тасымалдауда температуралық режимді сақтау Good Distribution Practice стандартының негізгі талабы болып табылады. Тоңазытқыш камераларындағы тұрақты температура суық тізбекті сақтаудың басты факторы саналады. Бұл жұмыста жабдықтың сыни жағдайларда температураны сақтау қабілетін бағалауға арналған валидациялық сынақ әдістері қарастырылды. Алынған нәтижелер камералардың тиімділігін бағалауға, тәуекелдерді анықтауға және сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді.*

Кілт сөздер: *валидациялық сынақтар, температуралық режим, тұрақтылық, тоңазытқыш камера, термолабильді өнім, сақтау сапасын бақылау.*

Кіріспе. Суық тізбекті тауарларды сақтау мен тасымалдауда тұрақты температураны қамтамасыз ету фармацевтикалық өнімнің сапасы мен қауіпсіздігінің негізгі факторы болып табылады. Температуралық режимнің бұзылуы өнімнің тиімділігінің төмендеуіне және тұтынушы үшін тәуекелдердің артуына әкелуі мүмкін. Осыған байланысты GDP талаптары тоңазытқыш камералары мен суық тізбек жүйелеріндегі температураны бақылау мен растауға қатаң талаптар қояды [1, 2]. Тоңазытқыш жабдығының валидациясы қалыпты және сыни режимдерде берілген температураны сақтау қабілетін бағалауға бағытталған, ал динамикалық валидациялық сынақтар жабдықтың сенімділігі мен нормативтік талаптарға сәйкестігін анықтауға мүмкіндік береді.

Әдістері. ҚР-да валидация әдістерін регламенттейтін нормативтік құжат жоқ, мақалада отандық ірі фармацевтикалық кәсіпорынның практикалық тәжірибесіне негізделген және еуропалық GDP талаптарын ұлттық жағдайларға бейімдеу арқылы әзірленген валидация әдістемесі ұсынылған. Бұл жұмыста +2°С-тан +8°С-қа (D1) дейінгі және +8°С-тан +15°С-қа (G1) дейінгі температуралық режимі бар тоңазытқыш камераларын валидациялық сынау әдістемесі мен нәтижелері келтірілген [3, 4]. Зерттеудің практикалық маңыздылығы ұсынылған әдістемені фармацевтикалық ұйымдар үшін әдістемелік құрал ретінде пайдалану мүмкіндігімен айқындалады. Әр түрлі тоңазытқыш камераларын сынау әр түрлі күндерде өткізілді. Сынақтарды жүргізу үшін өлшеу құралдары (бұдан әрі – ӨҚ) Ұлттық сараптама және сертификаттау орталығында тексерілген 10.2026 жылға дейін өзекті тексеру сертификаттары бар Eclerk-M-01-T-W температура тіркеуші өлшеуіштер қолданылды [3]. Бірінші кезеңде ӨҚ тоңазытқыш камераларының ауданы мен биіктігін ескере отырып, бүкіл тоңазытқыш камерасына орналастырылды. ӨҚ 1-суретте көрсетілген схемаға сәйкес орнатылды [5]. Сұлба элементтерінің мағынасын ашу 1-кестеде келтірілген.

ӨҚ орнату нүктелері сөренің ені мен



а) б)

1-сурет – Өлшеу құралдарын тоңазытқыш камераларға орналастыру схемасы: а) G1 тоңазытқыш камерасы; б) D1 тоңазытқыш камерасы

1-кесте – Элементтер сұлбасының мағынасын ашу

№	Элементті белгілеу	
1		Есік
2		Сөре
3		Ауа салқындатқыш
4		Аймақ шекаралары
5		ӨҚ орнату нүктесі
6	X-0	0 – ӨҚ X – реттік нөмірі

ұзындығы бойынша тор түрінде орналастырылды, осылайша тауарларды сақтау орындары жеткілікті түрде қамтылды. ӨҚ орналастыру нүктелері арасындағы қашықтық 10 метрден аспады [5]. Аймақтар үшін тігінен: 1 деңгей – еденнен 0,3 метр биіктік; 2 деңгей – еденнен 1,5 метр биіктік; 3 деңгей – еденнен 2,3 метр биіктік.

Бірінші сынақ (+3°С-тан +7°С-қа дейін, +9°С-тан +14°С-қа дейін) сыртқы температуралық режимде +15°С-тан +25°С-қа дейінгі температуралық режимде ашық есігі бар тоңазытқыш камерада температуралық режимді ұстап тұру уақытын анықтауға бағытталған. Сынақ жүргізу үшін гофрленген картонмен толтырылған көліктік қаптама пайдаланылды (тауарға еліктеу), осы тауар ТК-25 термоконтейнерлеріне ауыстырылды. Ауа ағындарын бөлудің кедергісі тұрғысынан «ең нашар жағдайды» модельдеу үшін тоңазытқыш камерасы тауарына еліктеумен толтырылуы «Дәрілік заттар мен медициналық бұйымдарды сақтау және тасымалдау қағидаларын бекіту туралы» Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрінің 2021 жылғы 16 ақпандағы № ҚР ДСМ-19 бұйрығының 2-тарауының 11-тармағына сәйкес 75% (сақтау үй-жайлары алаңының ең жоғары толтырылуы) құрады [4]. Ауа салқындатқышы бүкіл сынақ барысында жұмыс істеді. Бұл сынақ 30 минутқа созылды, сынақ басталғаннан кейін 10 минуттан кейін тоңазытқыш камерасының есігі 10 минут ішінде ашылды. Сынақ барысында келесі параметрлер бағаланады:

- сыртқы ортадан жылы ауа ағыны жағдайында тоңазытқыш жүйесінің тиімділігі, тоңазытқыш камерасының тығыздығы бұзылған кезде жабдықтың тұрақты температуралық режимді сақтау қабілетін сипаттайды;

- бүкіл сынақ кезеңінде белгіленген рұқсат етілген диапазондар үшін нақты температуралық мәндердің (+3°С-тан +7°С/ +9°С-тан +14°С-қа дейін) шығуының болмауынан көрінетін температуралық сақтау режимінің тұрақтылығы.

Өлшеу құралдары температураны әр 10 секунд сайын бекітеді. Сынақ нәтижелері нәтижелер және қорытынды бөлімінде берілген.

Екінші сынақ ауа салқындатқышты ажырату кезінде +15°С-тан +25°С-қа дейінгі температуралық режим кезінде тоңазытқыш камерада (+3°С-тан +7°С-қа дейін +9°С-тан +14°С-қа дейін) жұмыс режимін сақтау уақытын анықтауға бағытталған. Сынақ жүргізу үшін шарттар 1-ші сынақта келтірілген. Ауа салқындатқышы бір сағат жұмыс істеді,

содан кейін ол өшірілді. Сынақ барысында тоңазытқыштың есігі жабылды. Сынақ 3 сағат 15 минутқа созылды. Сынақтың мәні белсенді салқындату жүйесінің авариялық ажыратылуын имитациялау кезінде тоңазытқыш камерасының температуралық режимінің инерциялылығын бағалау болып табылады. Сынақ барысында келесі параметрлер бағаланады:

- камера ішіндегі температура жұмыс режимінде қалатын кезеңнің ұзақтығы;

- рұқсат етілген температура режимінен шығудың жалпы уақыты, кем дегенде бір бақылау нүктесінде температура белгіленген диапазонның жоғарғы шегінен асатын сәт, бұл камераның термиялық тұрақтылығының нақты уақытын анықтайды.

Өлшеу құралдары температураны әр 15 минут сайын бекітеді. Сынақ нәтижелері нәтижелер және қорытынды бөлімінде берілген.

Үшінші сынақ тоңазытқыш камерасының (+3°С-тан +7°С/ +9°С-тан +14°С-қа дейін) жұмыс режиміне шығу уақытын сыртынан +15°С-тан +25°С-қа дейінгі дейінгі температуралық режимде анықтауға бағытталған. Сынақ басталғанға дейін тоңазытқыш камерасы 2 сағат 30 минут бойы сөндіріліп, максималды температура 17/19°С-қа жетті. Сынақ 2 сағат 30 минутқа созылды, ауа салқындатқыш басында қосылып, бүкіл сынақ барысында жұмыс істеді. Сынақ барысында тоңазытқыштың есігі жабылды. Сынақ барысында келесі параметрлер бағаланады:

- салқындату жүйесі қосылған сәттен бастап камераның ішіндегі белгіленген температура диапазонына жеткенге дейінгі кезең ұзақтығы;

- бұл жүйенің белгілі бір температура диапазонын айтарлықтай ауытқусыз қол жеткізгеннен кейін ұстап тұру қабілетін бағалау.

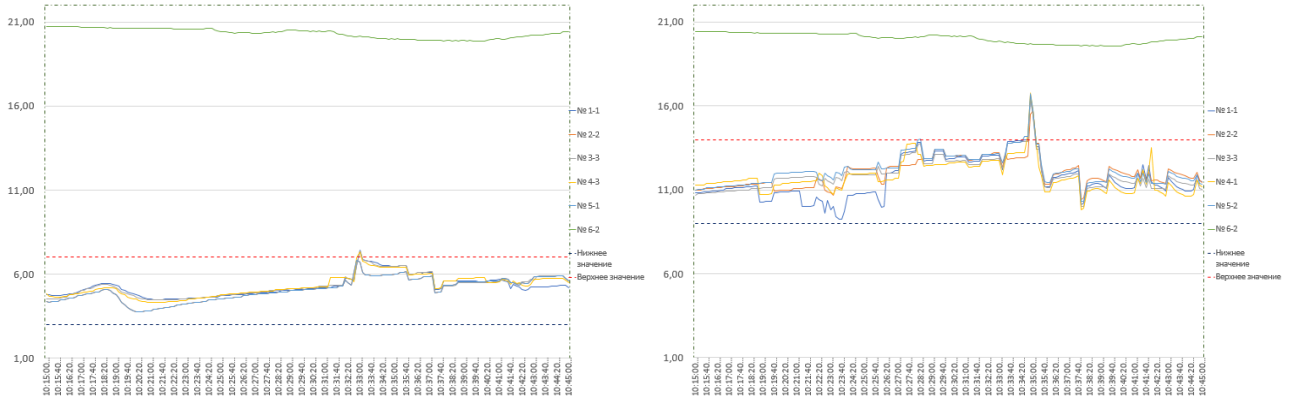
Өлшеу құралдары температураны әр 15 минут сайын бекітеді. Сынақ нәтижелері нәтижелер және қорытынды бөлімінде берілген.

Нәтижелер және қорытынды. Температуралық режимді ұстап тұру уақытын анықтауға арналған сынақ нәтижелері +15°С-тан +25°С-қа дейінгі температуралық режимде есігі ашық тоңазытқыш камерада 2-кестеде көрсетілген.

Тоңазытқыш камералардың жүргізілген сынақтары есікті 8 минут ішінде D1 тоңазытқыш камерада, G1 тоңазытқыш камерада 9 минут 30 секундтың ішінде ашқан кезде, камералар ішіндегі температураның белгіленген қабылдау критерийлерінен жоғары екенін көрсетті. Алайда, температура режимінің қысқа мерзімді ауытқуларымен байланысты тәуекелдерді талдауды ескере отырып, есіктің ашылу уақытын 5 минутқа шектеу ұсынылады. Тоңазытқыш камера көрсетілген жағдайларда есіктің қысқа мерзімді ашылуы кезінде берілген жұмыс режимін сақтауға қойылатын талаптарға сәйкес келеді. Ауа температурасының ауытқу графигі 2-суретте көрсетілген. Жұмыс режимінің сақталу уақытын анықтауға арналған сынақ нәтижелері ауа салқындатқышты ажыратқан кезде +15°С-тан +25°С-қа дейінгі температуралық режимдегі тоңазытқыш камерада 3-кестеде көрсетілген. Салқындатқыш камераларға жүргізілген сынақтар ауа салқындатқышты ажыратқан кезде температуралық режимі D1 тоңазытқыш камерасының ішіндегі температура белгіленген критерийлерден (+3°С-тан +7°С-қа дейін) 1 сағаттан кейін, ал G1 1 сағат 15 минуттан кейін белгіленген критерийлерден (+9°С-тан +14°С-қа дейін) шығады. Валидациялық сынақтар ең сындарлы пайдалану сценарийлерін модельдеуге бағытталған. Уақытша критерийлер фармацевтикалық өнімнің сапасына теріс әсер етпейтін

2-кесте – Бірінші сынақтың нәтижелері

Сынақты өткізу уақыты	Есіктің ашылу уақыты	Бірінші нүкте режимінен тыс шығу уақыты (D1 тоңазытқыш камерасында)	Бірінші нүкте режимінен тыс шығу уақыты (G1 тоңазытқыш камерасында)	Есігі ашық D1 тоңазытқыш камерасында температураны сақтаудың нақты уақыты	Есігі ашық G1 тоңазытқыш камерасында температураны сақтаудың нақты уақыты	Тәуекелдерді ескере отырып, есігі ашық тоңазытқыш камерада температуралық режимді сақтау уақыты
сағат 10:15:00-ден 10:45:00-ге дейін.	сағат 10:25:00-ден 10:35:00-ге дейін.	10:33:00 сағ.	10:34:30 сағ.	8 минут	9 минут 30 секунд	5 минут



а) б)

2-сурет – Ауа температурасының ауытқу графигі:
а) D1 тоңазытқыш камерасы; б) G1 тоңазытқыш камерасы

3-кесте – Екінші сынақ нәтижелері

Сынақ ұзақтығы уақыты (сағат)	Ауа салқындатқышты өшіру	Жұмыстың бірінші нүктесінен асатын уақыт (D1 тоңазытқыш камерасында)	Жұмыстың бірінші нүктесінен асып кету уақыты (G1 тоңазытқыш камерасында)	Тоңазытқыш камерасында температура режимін сақтаудың нақты уақыты	D1 Тоңазытқыш камерасында температура режимін сақтаудың нақты уақыты	Тәуекелдерді ескере отырып, D1 тоңазытқыш камерасында температура режимін сақтау уақыты	Тәуекелдерді ескере отырып, G1 тоңазытқыш камерасында температура режимін сақтау уақыты
12:30-дан 15:45-ке дейін	13:30 сағ.	14:30 сағ.	14:45 сағ.	1 сағат	1 сағат 15 минут	30 минут	1 сағат

температура ауытқуларының рұқсат етілген ұзақтығы, тоңазытқыш камерасының техникалық сипаттамалары, тәуекелдерді талдау нәтижелері және жинақталған пайдалану тәжірибесі негізінде анықталады.

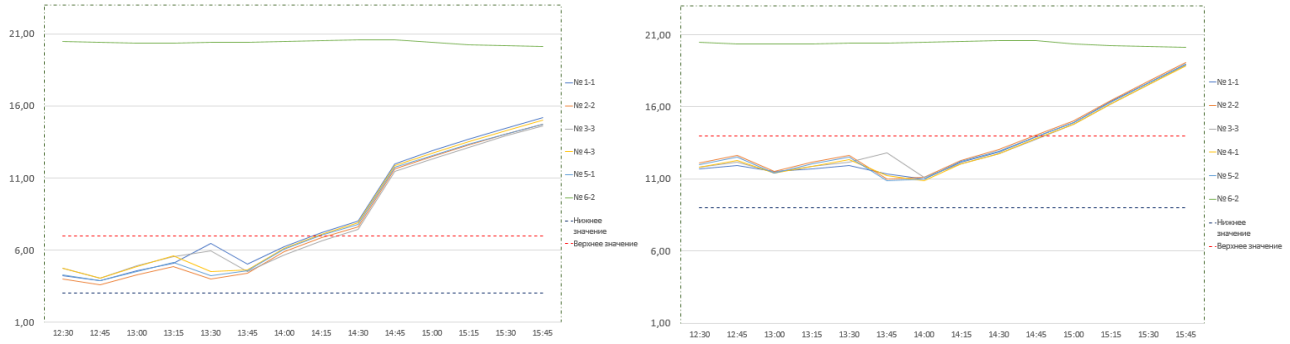
Алайда, электрмен жабдықтаудың қысқа мерзімді үзілістерімен және басқа да күтпеген жағдайлармен (сыну) байланысты тәуекелдерді талдауды ескере отырып, температуралық режимді сақтаудың қауіпсіз уақыты 30 және 45 минутқа белгіленді. Ауа температурасының ауытқу графигі 3-суретте көрсетілген.

Тоңазытқыш камераның жұмыс режиміне шығу уақытын анықтауға арналған сынақ нәтижелері (+3°С-тан +7°С-қа дейін/ +9°С-тан +14°С-қа дейін) сыртқы температуралық режимде +15°С-тан +25°С-қа дейін 4-кестеде көрсетілген. Салқындатқыш камераларға жүргізілген сынақтар ауа салқындатқышты сағат 16:00-де қосқан кезде +2°С-тан +8°С (D1) температуралық режимі бар тоңазытқыш камерасы жұмыс температуралық режиміне (+3°С-тан +7°С-қа дейін) 16:45 сағатта, яғни 45 минутта жеткенін көрсетті. +8°С-тан +15°С-ке (G1) дейінгі температуралық режимі бар тоңазытқыш камерасы жұмыс температуралық режиміне (+9°С-тан +15°С-қа дейін) 16:30 сағатта, яғни 30 минутта жетті. Қоршаған орта температурасының ықтимал ауытқуларын, камера ішіндегі суықтың біркелкі бөлінбеуін және салқындату жылдамдығына әсер ететін басқа факторларды және тәуекелдерді ескере отырып, камераның жұмыс режиміне шығу уақыты 1 сағатта қабылданды. Тоңазытқыш камерасы жұмыс режиміне шығу уақыты бойынша белгіленген талаптарға сәйкес келеді. Нәтижелер тоңазытқыш камераның белгіленген жұмыс жағдайында берілген температуралық режимді тиімді қолдай алатындығын растайды. Ауа температурасының ауытқу графигі 4-суретте көрсетілген.

Келесі зерттеулер аясында ұзақтығы 168

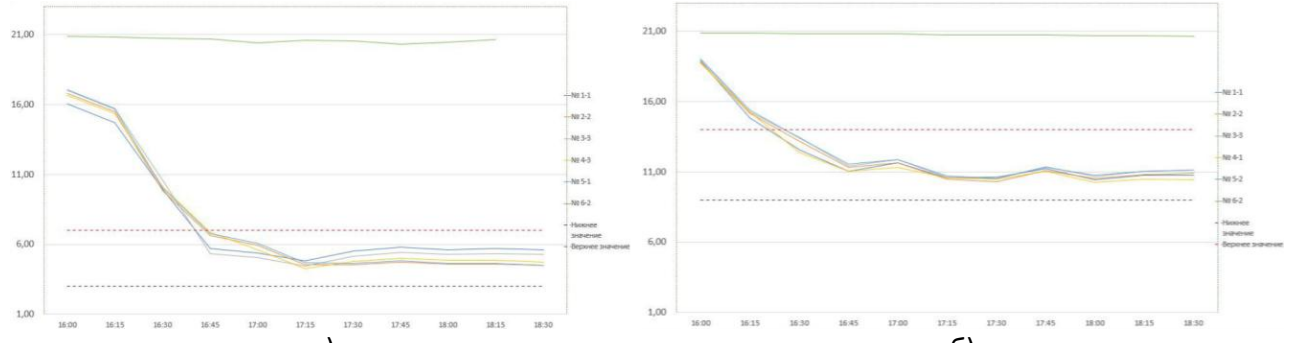
4-кесте – Үшінші сынақ нәтижелері

Сынақты өткізу уақыты	Ауа салқындатқышты қосу уақыты	Соңғы нүкте режиміне шығу уақыты (D1 тоңазытқыш камерасында)	Соңғы нүкте режиміне шығу уақыты (G1 тоңазытқыш камерасында)	D1 тоңазытқыш камерасының жұмыс режиміне нақты шығу уақыты	G1 тоңазытқыш камерасының жұмыс режиміне нақты шығу уақыты	Тәуекелдерді ескере отырып, тоңазытқыш камераның жұмыс режиміне шығу уақыты
сағат 16:00-ден 18:30-ға дейін	16:00 сағ.	16:45 сағ.	16:30 сағ.	45 минут	30 минут	1 сағат



а) б)

3-сурет – Ауа температурасының ауытқу графигі:
а) D1 тоңазытқыш камерасы; б) G1 тоңазытқыш камерасы



а) б)

4-сурет – Ауа температурасының ауытқу графигі:
а) D1 тоңазытқыш камерасы; б) G1 тоңазытқыш камерасы

сағаттық квалификациялық және валидациялық сынақтарға арналған жеке жарияланым дайындау жоспарлануда. Температуралық карталау жүргізіліп, минималды, максималды және орташа мәндер анықталады, стандартты ауытқулар есептеледі және камераның аймақтары бойынша кеңістіктік өзгергіштік бағаланады. Сондай-ақ, есіктер ашылғандағы жылу ағынының және камераның толтырылу дәрежесінің температураның таралуына әсері, ыстық және суық нүктелер, сондай-ақ, ең үлкен ауытқулар болатын аймақтар талданады. Алынған мәліметтер жабдықтың жұмыс тиімділігін егжей-тегжейлі бағалауға мүмкіндік береді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Стандарт GDP. Приложение 4 к Приказу исполняющего обязанности Министра здравоохранения Республики Казахстан от 4 февраля 2021 года № ҚР ДСМ-15 «Об утверждении надлежащих фармацевтических практик». Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 9 февраля 2021 года № 22167.
2. Байхожаева Б., Фалеев М. Анализ метрологической инфраструктуры Республики Казахстан // Вестник ЕНУ № 3 (140), 2022, С. 43-61. DOI.: https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-140-3-43-61
3. «Об утверждении правил хранения и транспортировки лекарственных средств и медицинских изделий». Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан от 16 февраля 2021 года № ҚР ДСМ-19. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 18 февраля 2021 года № 22230.
4. Абрамова Е., Алексеева Н., Егоров А. Аттестация/квалификация (валидация) оборудования и аналитических методов в фармацевтическом производстве // АНО «Аналитика и высокие технологии». 2012, С. 60-62.
5. Temperature Mapping for Pharmaceutical Cold Room Validation [Электронный ресурс] // Kiat Lay Engineering Pte Ltd – URL: https://www.kiatlay.com.sg/temperature-mapping-pharmaceutical-cold-room-validation/ (дата обращения: 29.10.2025).

Анализ методов валидационных испытаний холодильных камер и их роль в обеспечении стабильной работы оборудования при критических ситуациях

САХИЛАЕВА Дильназ Берікқызы, *магистрант, dsahilaeva@mail.ru,*
БАЙХОЖАЕВА Бахыткуль Узаковна, *д.т.н., зав. кафедрой, bajxozhaeva630529@gmail.com,*
КОКАЕВ Умиржан Шералиевич, *к.т.н., декан, kokayev_ush@enu.kz,*
****КИЛИБАЕВ Еркебулан Омирлиевич,*** *к.т.н., доцент, 1k.e.o_77@mail.ru,*
АХМЕТ Аягөз Әсілханқызы, *преподаватель, ayagoz071099@gmail.com,*
НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Соблюдение температурного режима при хранении и транспортировке холодовой цепи является основным требованием стандарта Good Distribution Practice. Стабильная температура в холодильных камерах считается ключевым фактором сохранности продукции холодовой цепи. В работе рассмотрены методы валидационных испытаний, направленные на оценку способности оборудования поддерживать температуру в критических условиях. Полученные результаты позволяют оценить эффективность работы камер, выявить риски и повысить их надежность.*

Ключевые слова: *валидационные испытания, температурный режим, стабильность, холодильная камера, термолабильная продукция, контроль качества хранения.*

Analysis of Validation Test Methods for Refrigeration Chambers and Their Role in Ensuring Stable Operation of Equipment in Critical Situations

SAKHILAEVA Dilnaz, *Master's Student, dsahilaeva@mail.ru,*
BAIKHOZHAEVA Bakhytkul, *Dr. of Tech. Sc., Head of Department, Professor, bajxozhaeva630529@gmail.com,*
KOKAYEV Umirzhan, *Cand. of Tech. Sc., Dean, kokayev_ush@enu.kz,*
****KILIBAYEV Yerkebulan,*** *Cand. of Tech. Sc., Docent, 1k.e.o_77@mail.ru,*

AKHMET Ayagoz, *Lecturer, ayagoz071099@gmail.com,*
NPJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», 2 Satpayev Street, Astana, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *Maintaining the temperature regime during storage and transportation of cold chain products is a key requirement of the Good Distribution Practice standard. Stable temperature in refrigeration chambers is considered a critical factor for the preservation of cold chain products. This study examines validation testing methods aimed at assessing the equipment's ability to maintain temperature under critical conditions. The results obtained allow for evaluating the efficiency of the chambers, identifying potential risks, and improving their reliability.*

Keywords: *validation testing, temperature control, stability, cold storage, heat-sensitive products, storage quality control.*

REFERENCES

1. GDP Standard, Appendix 4 to the Order of the Acting Minister of Health of the Republic of Kazakhstan dated February 4, 2021, No. ҚР ДСМ-15 "On Approval of Good Pharmaceutical Practices". Registered with the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on February 9, 2021, No. 22167.
2. B. Baykhozhaeva, M. Faleev. Analysis of the metrological infrastructure of the Republic of Kazakhstan // Bulletin of ENU No. 3 (140), 2022, pp. 43-61. DOI.: https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-140-3-43-61
3. "On Approval of the Rules for the Storage and Transportation of Medicines and Medical Devices" Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan dated February 16, 2021 No. ҚР ДСМ-19. Registered with the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on February 18, 2021, No. 22230.
4. E. Abramova, N. Alekseeva, A. Egorov. Certification/qualification (validation) of equipment and analytical methods in pharmaceutical production // ANO "Analytics and High Technologies", 2012, pp. 60-62.
5. Temperature Mapping for Pharmaceutical Cold Room Validation [Electronic resource] // Kiat Lay Engineering Pte Ltd – URL: https://www.kiatlay.com.sg/temperature-mapping-pharmaceutical-cold-room-validation/ (accessed: October 29, 2025).

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_418 УДК 620.98

Обоснование использования интеллектуального управления в теплосетях

[1]*АЛИЕВ Асхат Калимжанович, докторант, askhataliyev13@gmail.com,
[1]ДЮСЕНОВ Канат Махметович, к.т.н., и.о. доцента, kdyussenov@yandex.ru,
[2]ЕРБАЕВ Ербол Тулегенович, PhD, и.о. доцента, erbol.erbaev@mail.ru,
[3]ЕРБАЕВА Нургуль Булатовна, старший преподаватель, nurgul_0986n@mail.ru,
[4]БУРАНОВА Нурслу Галымовна, старший преподаватель, nurslu_1986@mail.ru,
[1]НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан,
[2]НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», ул. Жангир хана, 51, Уральск, Казахстан,
[3]Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем, Казахстан, г. Уральск, ул. Маншук Маметовой, 81.
[4]ЧВПОУ «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет», пр. Н. Назарбаева, 194, Уральск, Казахстан,
*автор-корреспондент.

Аннотация. Неравенство потребности на энергию в сети общегородского отопления способствует созданию перспективы интегрированной работы между тепловой сетью и возобновляемыми источниками энергии, а также управлению пиковыми нагрузками путем их сокращения и перераспределения. Представлены результаты ряда исследований, проведенных в нескольких объединённых помещениях, которые помогут планированию для использования их в будущем в тепловых сетях. Предлагаемые пути в основном применимы к частным потребителям с определенными пределами значения теплоты, с целью оценки гибкости спроса на отопление без излишних затрат. Результаты показали, что снижение температуры подачи от теплосетей на 10°C практически не влияет на использование теплоты у потребителей с радиаторами и термостатическими клапанами. Однако снижение на 20°C и 40°C может оказать влияние на потребителей с более высокими темпами потребления теплоты, составляющими приблизительно 0,4 и 0,2 [единиц / 10 мин] соответственно. Помимо этого, увеличение продолжительности испытаний до середины дня, когда наблюдается наиболее предсказуемая температура наружного воздуха и солнечного излучения, может предотвратить резкие колебания энергии после проведения испытаний.

Ключевые слова: теплосеть, температурный датчик, энергопотребление, пиковая нагрузка, интеллектуальное управление, цикл, подход.

Введение

Преимущества сетей централизованного теплоснабжения (ЦТ) делают их одним из приемлемых вариантов для отопления густонаселенных городов. Внедряя в него различные типы установок, типы возобновляемых источников энергии и тепловые насосы, можно получить ряд позитивных моментов [1].

Рост доли возобновляемой электроэнергии дает возможности Power-to-X, в подходе, в котором лишняя энергия используется для производства продукта (X), например, – теплота [2]. Городское отопление может интегрироваться с этим подходом, используя тепловые насосы для обеспечения гибкости и повышения эффективности на 50%. Однако сложности с управлением спросом на энергию при использовании возобновляемых ресурсов остаются [3].

В данной статье описаны результаты испытаний в многоквартирном доме для оценки стратегий управления ЦТ. Это, по-видимому, один из немногих анализов влияния управления спросом на потребление теплоты с учетом комфорта в реальных условиях. Исследуются методы снижения пиков и перераспределения тепловых нагрузок в жилых районах. Еще одно нововведение – это циклы управления потоками энергии,

применимые только к квартирам с высоким теплопотреблением, исключая квартиры с низким теплопотреблением.

Методы исследования

В данном исследовании проводились тесты для анализа потребления теплоты и возможности снижения пиковых нагрузок с учетом комфорта. Эксперименты проводились в реальных условиях в трех многоквартирных домах в одном из микрорайонов города Костанай на протяжении 5 дней.

Таблица 1 представляет обзор всех тестов. Планируется провести 5 эталонных циклов. Изменения в подаваемой t° для каждого теста показаны в таблице. Для стабилизации t° после тестов используется плавное наращивание нагрева.

При тестировании, которое выполнялось изменением подаваемой t° отопления помещений, влияния на горячее водоснабжение не было. В каждый дом приходит два независимых подвода. t° регулировалась с помощью крана, установленного на входе теплосистемы. Принципиальная схема представлена на рисунке 1. Далее, заданная t° воды подается к батареям отопления.

Расход теплоты определяется на основе данных, полученных от теплосчетчиков (Minol Minometer M6), установленных на всех радиаторах в квартирах. Каждый теплосчетчик использует два датчика t° с точностью 0,1°C [39] для измерения передаваемой теплоты от радиатора в здания [4]. Данные считываются беспроводной системой с изменяемым интервалом выборки, в среднем 1-3 часа. Также используется датчик Elvaco CMA10, применяемый для измерения t° в квартирах. Этот датчик измеряет t° от 10°C до 30°C [5]. Все данные сохраняются в системе и доступны для счетов.

Результаты и обсуждение

В этом разделе рассматриваются только стабильные реакции, наблюдаемые в большинстве дней испытания, так как на рабочие параметры влияют различные факторы, помимо изменения источника теплоты. Медленное нарастание мощности может сгладить резкие колебания энергии после тестирования, но не исключает увеличения энергии. Это также может уменьшить колебания энергии, но не является единственной причиной снижения расхода теплоты [6].

Погодные условия оказывают большое влияние на расход теплоты, а повышение t° в помещении может повлиять на расход теплоты. Например, средняя квартира на первом этаже расходует меньше энергии, так как t° значительно повышается из-за солнечного излучения. Отслеживая тенденции общего расхода теплоты домов и t° наружного воздуха, можно заметить задержку между ними примерно в 1,5-2 часа. Такая задержка теплорасхода обусловлена изоляционными материалами и тепловой инерцией всего дома [7]. Поэтому на снижение энергии влияет не только медленное нарастание и его влияние на уменьшение колебаний энергии, но и благоприятные погодные условия [8].

В 1 день испытаний, проведенных с 8:00 до 11:00 с медленным нарастанием в течение 1 часа t° на входе в термостатическом клапане снижает поток, что ограничивает накопление тепла в квартире. Выбор жильцами разных марок клапанов влияет на t° и расход тепла: более высокие диапазоны уменьшают влияние комнатной t° на поток, что приводит к излишнему нагреву помещений.

Жители с теплыми квартирами имеют высокий расход тепла и могут быть подвержены ограничениям. При снижении t° радиаторов увеличивается поток внутри радиаторов для компенсации, что удовлетворяет потребности жильцов с нормальными условиями. Стратегия направлена на снижение энергопотребления у пользователей с высоким спросом, а не на всех жильцов.

В исследовании реализованы три снижения t° при t° подачи отопления помещений 10°C, 15°C и 20°C. При понижении t° на 10°C потребление теплоты в день первого испытания не влияет на потребление теплоты в квартирах. Поэтому для большинства пользователей снижение t° компенсируется

Таблица 1 – Обзор выполненного опыта.

Исп. 1	22-26.01	t° на входе снижается на 10°C с 8:00 до 11:00 и поднимается с медленным ростом (1 час) до нормального режима
Исп. 2	29.01-2.02	Полное выкл. тепла с 6:00 до 8:00 и медленный рост (1 час) до нормы.
Исп. 3	5.02-9.02	t° на входе растет на 5°C с 0:00 до 5:00, после с 5:00 до 9:00 падает на 15°C и за 2 часа, возвращается к норме.
Исп. 4	12.02-16.02	t° на входе падает на 20°C с 5:00 до 9:00 и растет медленно до нормы.
Исп. 5	19.02-23.02	Полное выкл. тепла с 5:00 до 9:00, и медленный рост до нормы.

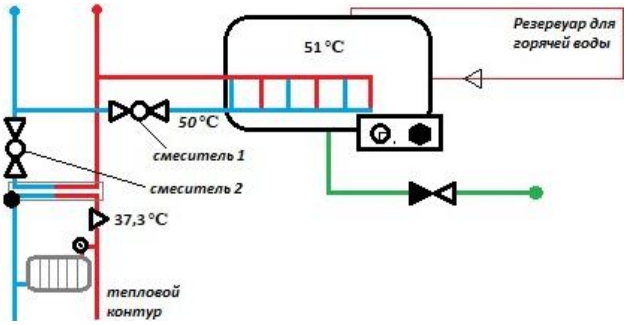


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки смесителя

увеличением циркуляции воды внутри радиаторов.

В следующем тесте нормальная работа начинается через 1 час с медленным нарастанием. Тенденции потребления теплоты показали, что снижение t° подачи на 10°C может повлиять на квартиры с уровнем потребления теплоты примерно более 0,2 [единиц/10 мин]. На рисунке 2 представлены очевидные эффекты этого теста на потребителя в комфортных условиях. Снижение t° на входе на 10°C на потребление теплоты и на t° средней квартиры на втором этаже дома № 4.

На рисунке 3 показано потребление теплоты и условия внутри помещений в некоторых квартирах в течение выборочного дня испытания 4 со снижением t° подачи на входе на 20°C.

Учитывая текущие тенденции потребления теплоты, это испытание может затронуть квартиры, в которых уровень потребления теплоты превышает 0,1 [единиц/10 мин]. Следует отметить, что в этом тесте нормальная работа начинается после 2 часов медленного разгона.

Эти исследования показали, что повышение t° воздуха на улице и солнечное излу-

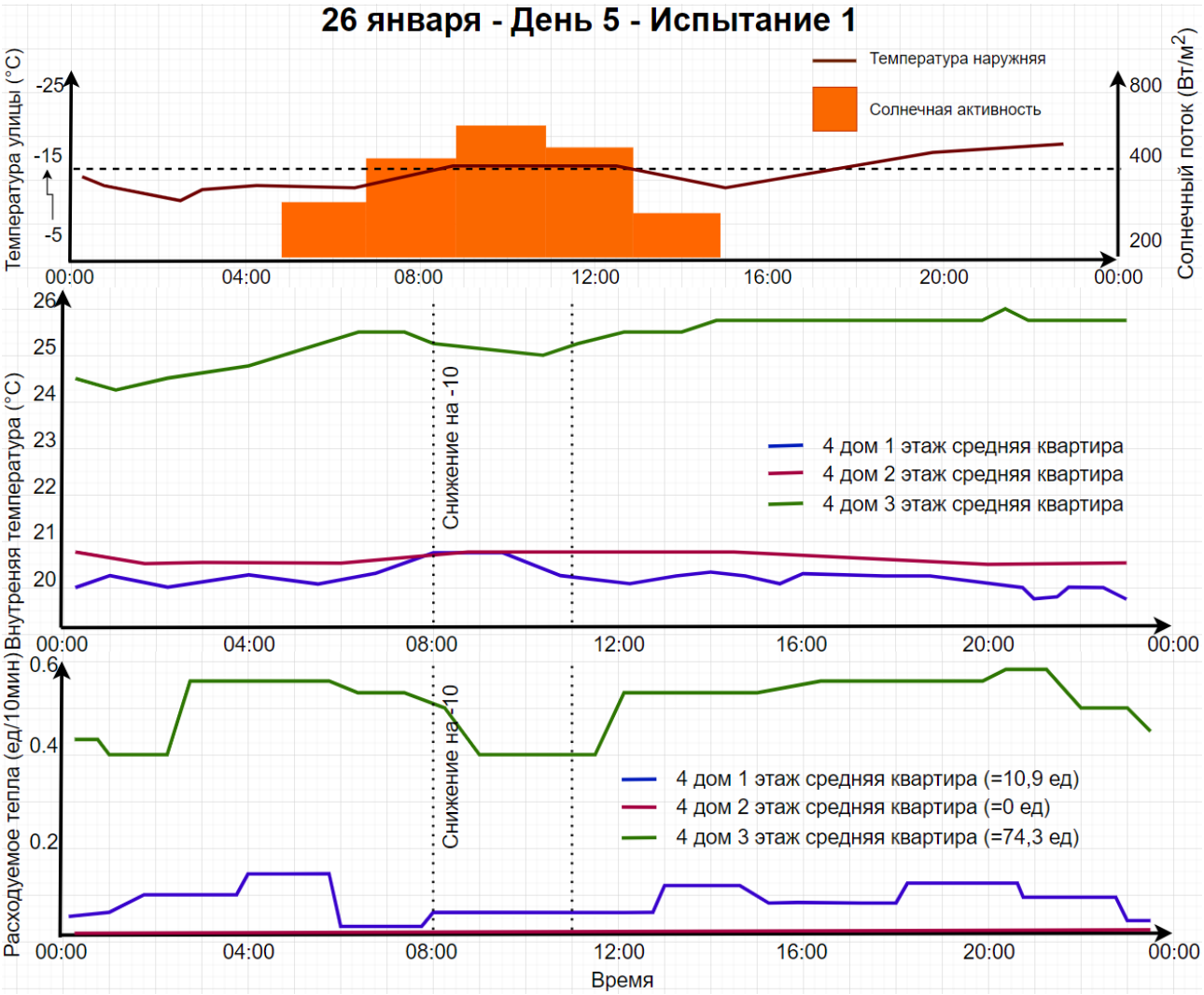


Рисунок 2 – Результаты 5-го дня, испытание 1

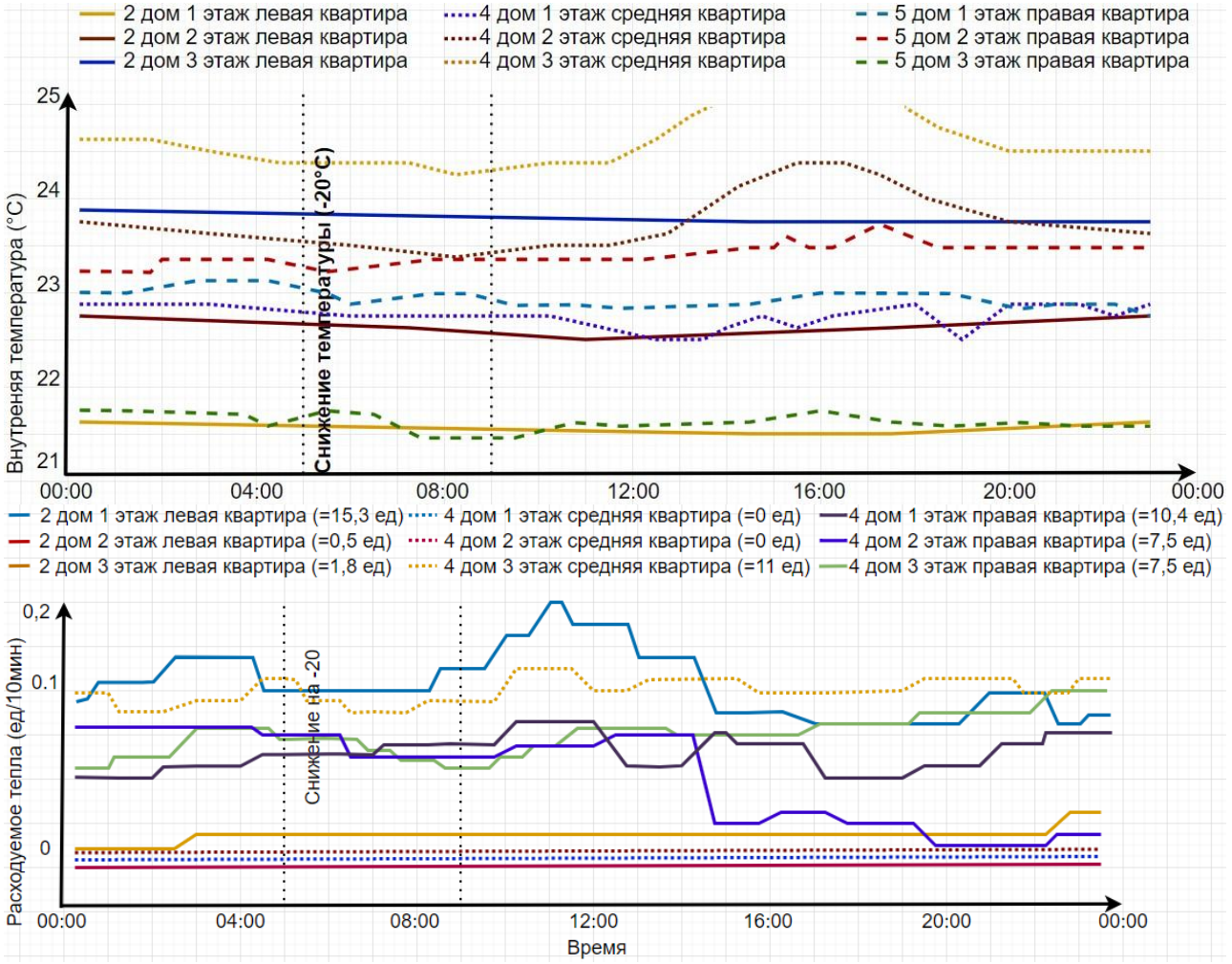


Рисунок 3 – Результаты 1 дня, испытание 4

чение снизили энергопотребление в квартирах. Снижение t° воздуха в помещении или полное отключение не несет особого эффекта, изменение не превышало 0,5°C. Здания с низким энергопотреблением могут обеспечивать комфортную t° в течение нескольких часов без внешнего источника теплоты. Подобные тесты можно проводить в течение более длительного времени. Сравнение общего ежедневного потребления теплоты во время проведения тестов и в контрольные дни может выявить высокий потенциал снижения энергопотребления за счет управления спросом.

По причине влияния погодных условий, свойств квартир и привычки жильцов, суммарную оценку эффективности испытаний представить сложно. Однако, сопоставляя суточное потребление можно говорить о положительном воздействии от теста в течение более 3 дней в течение всех 5 тестовых дней.

В таблице 2 показано сравнение тестовых и стандартных дней, отсортированных по средней t° наружного воздуха, а также положительное и отрицательное влияние теста на ежедневное потребление теплоты.

Исходя из данного анализа, можно заключить, что применение интеллектуального управления спросом является осуществимым при использовании данной стратегии, которая, в свою очередь, требует более детального измерения и наблюдения за данными.

Выводы

Предложена своя линия интеллектуального управления спросом, которая может быть применена к избранным потребителям с определенным диапазоном потребления теплоты, а не ко всем пользователям без каких-либо дополнительных затрат.

Результаты показывают, что снижение t° на входе на 10°C и 20°C может повлиять на потребление теплоты потребителями с более высокой интенсивностью потребления теплоты примерно на 0,2 и 0,1 [единиц/10

Таблица 2 – Сравнение тестовых и стандартных дней, отсортированных по t° наружного воздуха

Исп. и провед. дни	Даты	СТУ (°С)	ТКП (ед/день)	Эффект
Исп. 1 – день 3	24 января	– 15,2	478,9	Тест1+
Исп. 1 – день 1	22 января	– 14,6	448,6	Тест1+
Исп. 1 – день 5	26 января	– 13,3	560,4	Тест1–
Исп. 3 – день 1	5 февраля	– 11,6	273,84	Тест3+
Исп. 3 – день 2	6 февраля	– 10,5	241,92	Тест3–
Исп. 3 – день 3	7 февраля	– 9,1	244,66	Тест3+
Исп. 5 – день 1	19 февраля	– 8,9	124,47	Тест5+
Исп. 5 – день 2	20 февраля	– 7,6	124,42	Тест5+
Исп. 2 – день 2	30 января	– 6,4	340,91	Тест2–
Исп. 4 – день 2	13 февраля	– 5,5	112,52	Тест4+
Исп. 4 – день 3	14 февраля	– 4,9	95,66	Тест4–

мин] соответственно. Продление испытаний до полудня, может снизить или избежать пика тепловой энергии после запуска в нормальных условиях. Сравнение всех испытаний с обычными днями с ближайшей средней t° наружного воздуха показывает, что более 3 дней в течение 5 дней испытаний оказывают положительное влияние на потребление теплоты домами.

Кроме того, эти испытания показывают разумный потенциал для снижения пиковых нагрузок и смещения нагрузки в энергопотреблении. Поскольку энергетическая политика направлена на использование крупномасштабных тепловых насосов для отопления или расширение сетей централизованного теплоснабжения, снижение пиковых нагрузок и перераспределение нагрузки ежедневного потребления теплоты приводит к повышению гибкости ТЭЦ.

В результате возобновляемые источники энергии могут вносить больший вклад в сеть, а тепловые нагрузки могут быть перенесены на периоды, когда в сети доступно больше возобновляемых источников электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Lee, C. Han, S. Kwon, Y. Kim. Energy and cost savings through heat trading between two massive prosumers using solar and ground energy systems connected to district heating networks // Energy. 284, – 2023. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129347
2. R. Nourollahi, K. Zare, B. Mohammadi-Ivatloo, V. Vahidinasab, A.A. Moghadam. Continuous-time optimization of integrated networks of electricity and district heating under wind power uncertainty // Appl Therm Eng 225 (2023). – 2022.
3. Y. Gong, G. Ma, Y. Jiang, L. Wang. Research progress on the fifth-generation district heating system based on heat pump technology [J Build Eng] 71, – 2023.
4. L. Serrat, J.I. Linares, M.M. Cledera, C. Morales, K. Hueso. Ground source heat pump driven by reciprocating engine firing biomethane from wastewater treatment plant sludge in a cogeneration for district heating and cooling. A case study in Spain // Appl Therm Eng, 219. – 2022. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119586
5. S. van der Zwan, I. Pothof. Operational optimization of district heating systems with temperature limited sources // Energy Build, 226. – 2020.
6. A. Erdmann, A. Marcellan, J. Stock, D. Neuroth, C. Utama, M. Suriyah, et al. A comparative co-simulation analysis to improve the sustainability of cogeneration-based district multi-energy systems using

photovoltaics, power-to-heat, and heat storage // Energy Convers Manage, 291. – 2023.
7. P. Huang, B. Copertaro, X. Zhang, J. Shen, I. Löfgren, M. Rönnelid, et al. A review of data centres as prosumers in district energy systems: renewable energy integration and waste heat reuse for district heating // Appl Energy, 258. – 2019.
8. T. Arghand, S. Javed, J.O. Dalenbäck. Combining direct ground cooling with ground-source heat pumps and district heating: energy and economic analysis // Energy, 270. – 2023. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126944

Жылу желілеріндегі зиялды басқаруды пайдалану негізі

[1]*АЛИЕВ Асхат Калимжанович, *докторант, askhataliyev13@gmail.com,*
[1]ДЮСЕНОВ Канат Махметович, *т.ғ.к., доцент м.а., kdyussenov@yandex.ru,*
[2]ЕРБАЕВ Ербол Тулегенович, *PhD, доцент м.а., erbol.erbaev@mail.ru,*
[3]ЕРБАЕВА Нургуль Булатовна, *аға оқытушы, nurgul_0986n@mail.ru,*
[4]БУРАНОВА Нурслу Галымовна, *аға оқытушы, nurslu_1986@mail.ru,*
[1]«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан,
[2]«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, Жәңгір хан көшесі, 51, Орал, Қазақстан,
[3]«Қазақстанның инновациялық және телекоммуникациялық жүйелер университеті» МЕББМ, М. Мәметова көшесі, 81, Орал, Қазақстан,
[4]«Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті» ЖЖКБМ, Н. Назарбаев даңғылы, 194, Орал, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Қалалық жылу желісіндегі энергияға сұраныстың теңсіздігі жылу желісі мен жаңартылатын энергия көздері арасында кешенді жұмыс перспективасын құруға, сондай-ақ оларды азайту және қайта бөлу арқылы ең жоғары жүктемелерді басқаруға ықпал етеді. Жылу желілерінде болашақта пайдалану үшін жоспарлауға болатын бірнеше біріктірілген үй-жайларда жүргізілген бірқатар зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Ұсынылған жолдар, негізінен, қажетсіз шығындарсыз жылытуға сұраныстың икемділігін бағалау үшін белгілі бір жылу құны шегі бар жеке тұтынушыларға қолданылады. Нәтижелер жылу желілерінен берілетін температураның 10°C төмендеуі радиаторлары мен термостатикалық клапандары бар тұтынушылар үшін жылуды пайдалануға іс жүзінде әсер етпейтінін көрсетті. Дегенмен, 20°C және 40°C төмендеуі тиісінше шамамен 0,4 және 0,2 [бірлік / 10 мин] жоғары жылу тұтыну жылдамдығы бар тұтынушыларға әсер етуі мүмкін. Сонымен қатар, сыртқы ауа температурасы мен күн радиациясын барынша болжауға болатын сынақ ұзақтығын түске дейін ұзарту сынақтан кейін үлкен энергия ауытқуларының алдын алады.*

Кілт сөздер: *жылу желісі, температура сенсоры, энергия шығыны, ең жоғары жүктеме, интеллектуалды басқару, цикл, тәсіл.*

Rationale for Using Intelligent Control in Heating Networks

[1]*ALIYEV Askhat, *Doctoral Student, askhataliyev13@gmail.com,*
[1]DYUSENOV Kanat, *Cand. of Tech. Sc., Acting Associate Professor, kdyussenov@yandex.ru,*
[2]YERBAYEV Yerbol, *PhD, Acting Associate Professor, erbol.erbaev@mail.ru,*
[3]YERBAYEVA Nurgul, *Senior Lecturer, nurgul_0986n@mail.ru,*
[4]BURANOVA Nurslu, *Senior Lecturer, nurslu_1986@mail.ru,*
[1]NPJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», 2 Satpayev Street, Astana, Kazakhstan,
[2]NPJSC «Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University», 51 Zhangir Khan Street, Oral, Kazakhstan,

[3]NGEI «Kazakhstan University of Innovation and Telecommunication Systems», 81 M. Mametova Street, Oral, Kazakhstan,
[4]PHPEI «West Kazakhstan University of Innovation and Technology», 194 N. Nazarbayev Avenue, Oral, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The inequality of energy demand in the city heating network contributes to the creation of the prospect of integrated work between the heating network and renewable energy sources, as well as the management of peak loads through their reduction and redistribution. This paper presents the results of a series of studies carried out in several integrated premises that can be planned for future use in heating networks. The proposed paths are mainly applicable to private consumers with certain heat value limits, in order to assess the flexibility of heating demand without unnecessary costs. The results showed that a 10°C reduction in supply temperature from heating networks has virtually no effect on heat use for consumers with radiators and thermostatic valves. However, reductions of 20°C and 40°C may impact consumers with higher heat consumption rates of approximately 0.4 and 0.2 [units/10 min], respectively. In addition, extending the duration of testing until midday, when outdoor temperatures and solar radiation are most predictable, can prevent large energy fluctuations after testing.*

Keywords: *heating network, temperature sensor, energy consumption, peak load, intelligent control, cycle, approach.*

REFERENCES

1. M. Lee, C. Han, S. Kwon, Y. Kim. Energy and cost savings through heat trading between two massive prosumers using solar and ground energy systems connected to district heating networks // Energy. 284, – 2023. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129347
2. R. Nourollahi, K. Zare, B. Mohammadi-Ivatloo, V. Vahidinasab, A.A. Moghadam. Continuous-time optimization of integrated networks of electricity and district heating under wind power uncertainty // Appl Therm Eng 225 (2023). – 2022.
3. Y. Gong, G. Ma, Y. Jiang, L. Wang. Research progress on the fifth-generation district heating system based on heat pump technology [J Build Eng] 71, – 2023.
4. L. Serrat, J.I. Linares, M.M. Cledera, C. Morales, K. Hueso. Ground source heat pump driven by reciprocating engine firing biomethane from wastewater treatment plant sludge in a cogeneration for district heating and cooling. A case study in Spain // Appl Therm Eng, 219. – 2022. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119586
5. S. van der Zwan, I. Pothof. Operational optimization of district heating systems with temperature limited sources // Energy Build, 226. – 2020.
6. A. Erdmann, A. Marcellan, J. Stock, D. Neuroth, C. Utama, M. Suriyah, et al. A comparative co-simulation analysis to improve the sustainability of cogeneration-based district multi-energy systems using photovoltaics, power-to-heat, and heat storage // Energy Convers Manage, 291. – 2023.
7. P. Huang, B. Copertaro, X. Zhang, J. Shen, I. Löfgren, M. Rönnelid, et al. A review of data centres as prosumers in district energy systems: renewable energy integration and waste heat reuse for district heating // Appl Energy, 258. – 2019.
8. T. Arghand, S. Javed, J.O. Dalenbäck. Combining direct ground cooling with ground-source heat pumps and district heating: energy and economic analysis // Energy, 270. – 2023. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126944

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_425 УДК 004.056.55

Методы защиты алгоритма ASCON от статистически неэффективных атак с ошибками на основе клеточных автоматов

КОККОЗ Махаббат Мейрамовна, *к.п.н., доцент, makhabbat_k@bk.ru,*
****КЛЮЕВА Елена Георгиевна,*** *старший преподаватель, e.klyueva@kstu.kz,*
КАЛИЕВ Тимур Нурланович, *магистрант, netimur@internet.ru,*
ТАЙЛАҚ Бибігүл Елжасқызы, *старший преподаватель, tailak_b@mail.ru,*
НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Алгоритм ASCON широко применяется в легковесной криптографии, включая встраиваемые системы, Интернет вещей (IoT) и беспроводные сети, где важны высокая производительность и низкое энергопотребление. Целью данного исследования являются разработка и анализ метода защиты алгоритма ASCON от атак SIFA, использующих ошибки в вычислениях. В статье проведен анализ уязвимостей алгоритма и методов реализации атак SIFA, способных обходить традиционные механизмы защиты. В качестве противодействия предложено использование клеточных автоматов, работающих по правилам 90-150, для усложнения компрометации ключа. Разработанная модификация ASCON интегрирует генератор псевдослучайных последовательностей, повышая криптостойкость без значительного увеличения вычислительных затрат. Экспериментальное моделирование подтвердило эффективность метода, показав, что усовершенствованный ASCON надежно защищен от атак SIFA.*

Ключевые слова: *ASCON, криптография, атака SIFA, отказоустойчивость, клеточные автоматы, защита данных, легковесное шифрование, криптостойкость, псевдослучайные последовательности, линейная диффузия.*

Введение

Стремительное развитие криптографических технологий и усиление вычислительных возможностей атакующих методов приводят к необходимости защиты современных алгоритмов шифрования. ASCON является одним из таких алгоритмов, предложенных как перспективное решение в области легковесной криптографии [1]. Благодаря своей эффективности и безопасности, ASCON нашел применение в системах, требующих высокой производительности при ограниченных вычислительных ресурсах.

Однако, несмотря на криптостойкость, ASCON подвержен ряду атак, включая атаки с использованием ошибок (Fault Attack). Одним из наиболее сложных вариантов таких атак является статистическая неэффективная атака с ошибками (SIFA), позволяющая извлекать ключи шифрования, обходя традиционные механизмы защиты [2]. В связи с этим разработка новых методов противодействия таким атакам является важной задачей для обеспечения безопасности данных.

Данное исследование посвящено разработке методов защиты ASCON от атак SIFA на основе использования свойств клеточных автоматов. В работе рассматриваются особенности атак SIFA и их воздействие на ASCON, а также предлагается новый механизм защиты, основанный на генерации псевдослучайных последовательностей с использованием клеточных автоматов.

Материалы и методы исследования

В процессе исследования были использованы аналитические и экспериментальные методы, направленные на изучение особенностей атак SIFA и разработку механизмов их предотвращения.

Методология исследования включала в себя этапы изучения и анализа архитектуры ASCON, а также его уязвимостей, исследования принципов работы атак с ошибками, включая их статистический характер и методы обхода традиционных механизмов защиты, выбора механизма защиты и разработки

модифицированной версии ASCON.

Основным инструментом исследования стал гибридный клеточный автомат, работающий по правилам 90-150, который интегрировался в алгоритм ASCON. Методика оценки безопасности основывалась на моделировании атак SIFA. Были проведены компьютерные эксперименты по моделированию атак на стандартную и модифицированную версии ASCON. Оценивались вероятность успешной атаки, степень влияния внесенных изменений на устойчивость алгоритма, а также его вычислительная эффективность.

Результаты исследования позволили разработать усовершенствованный вариант ASCON с повышенной устойчивостью к атакам на отказоустойчивость, что делает его надежным решением для современных криптографических систем.

Результаты и их обсуждение

Архитектура алгоритма ASCON основывается на губкообразном механизме обработки данных, в котором 320-битное состояние делится на пять 64-битных слов $S = (x^0, x^1, x^2, x^3, x^4)$ [3]. На рисунке 1 продемонстрировано, как эти слова располагаются в памяти, чтобы затем подвергаться итеративной перестановке p, состоящей из нескольких раундов.

Каждый раунд обычно представляется в виде формулы $R_i(S) = S \oplus c_i$, где c_i – константа, зависящая от номера раунда i, и дополнительно включает нелинейную подстановку, обозначаемую как Sub(S), которая задействует битовые сдвиги и логические операции. В процессе инициализации состояние объединяется с ключом и одноразовым числом, а затем несколько раз последовательно пропускается через обозначенную перестановку.

ASCON использует многократно повторяющуюся перестановку, в состав которой входят добавление констант, нелинейная подстановка и линейная диффузия. На рисунке 2 показана визуализация этих операций, где каждая ступень перестановки обозначается как p = (AddConst * Sub * Lin), а результат p(S) рассматривается как выход одного раунда.

В формализованном виде можно записать итоговое действие перестановки в виде $p(S) = L(Sub(S \oplus c_i))$, где c_i - константа i-го раунда, Sub(S) представляет собой битовую S – блок-подстановку, а L - набор линейных преобразований над словами состояния. Добавление константы предотвращает повторяемость внутренних состояний, нелинейная подстановка Sub(S) увеличивает криптостойкость за счет усложнения зависимости между входными и выходными битами, а линейная диффузия L обеспечивает распространение изменений по всему состоянию, что препятствует локальному взлому алгоритма. Вместе эти операции формируют основу безопасности ASCON, поскольку каждая из них вносит свой вклад в усложнение анализа со стороны потенциального нарушителя.

Атаки, которым может быть подвергнут

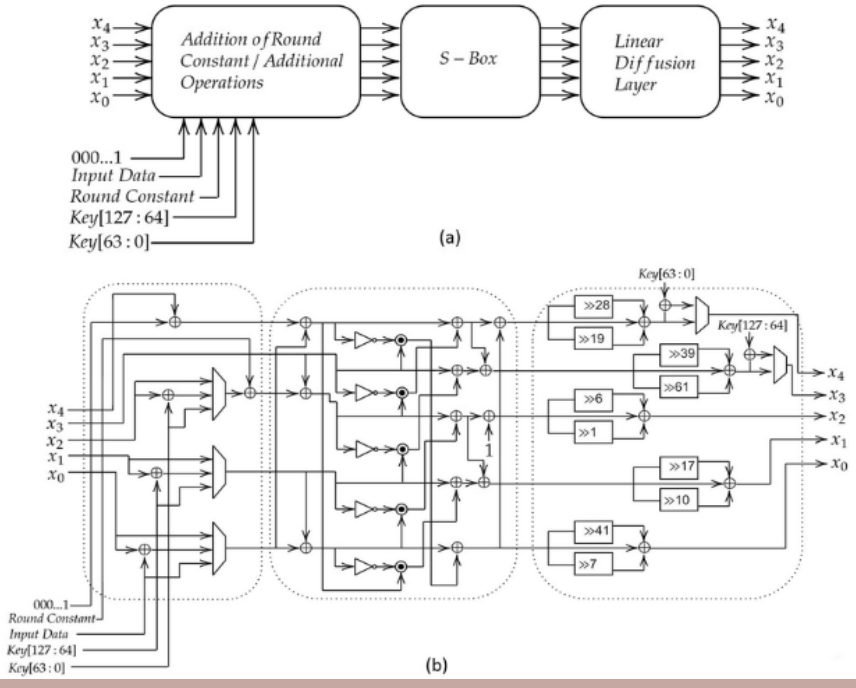


Рисунок 1 – 320-битное представление внутреннего состояния в Ascon

ASCON являются атаками на отказоустойчивость (Fault Attack). Такая атака представляет собой атаку на физическое устройство, приводящую к ошибкам, которые могут нарушить работу встроенных систем безопасности [4]. Такие атаки выполняются в два этапа: внедрение ошибки и использование ошибки.

Атаки на отказоустойчивость классифицируются на два вида по продолжительности: постоянные и временные. Постоянные атаки вызывают необратимые повреждения устройства, тогда как временные атаки не оставляют значительных повреждений.

Статистическая неэффективная атака с использованием ошибок (SIFA) была предложена в 2018 году как метод атаки блочных шифров. Она относится к мощным классам атак, основанным на модели ошибок, которую легко реализовать [5, 6]. Данная атака использует смещенное распределение промежуточного состояния и не требует сравнения корректного и ошибочного шифрования, как в случае дифференциальных атак с использованием ошибок. SIFA способна обойти традиционные методы защиты, основанные на обнаружении ошибок или «инфекционных» механизмах.

SIFA объединяет особенности статистической атаки с использованием ошибок (SFA) и неэффективной атаки с использованием ошибок (IFA). Эти методы различаются по подходу к реализации модели ошибок, однако для обоих требуется наличие смещенного промежуточного состояния. IFA аналитически определяет корректный целевой частичный подключ, в то время как SFA использует статистический подход.

IFA представляет собой сценарий, в котором операция с ошибкой всегда возвращает одно и то же значение. Злоумышленник пытается внедрить неэффективную ошибку, заставляя выходное значение быть фиксированным. В последующих шагах проверяется, совпадает ли результат операции с ошибкой с результатом операции без ошибок. Если выходное значение совпадает, считается, что произошла неэффективная ошибка.

В SFA для восстановления ключа используется неравномерное распределение промежуточных значений вместе с соответствующими результатами с ошибками. В SIFA злоумышленник внедряет ошибку между выполнением двух функций, что делает промежуточное состояние ошибочным и смещенным. Для выполнения SFA злоумышленник использует гипотезу частичного подключа для дешифрования ошибочного шифротекста и вычисления промежуточного значения с ошибкой. Эта процедура повторяется для различных гипотез подключа. Соответствующее смещенное распределение оценивается, и в конечном итоге определяется корректный ключ.

SIFA работает с ASCON, внедряя двойные ошибки в биты 3 и 4 на выходе пары выбранных S-блоков во время последнего раунда завершения [4]. Пусть x = x_0 || x_1 || x_2 || x_3 || x_4, где каждый xi представляет собой последовательные 64 бита входа в слой линейной диффузии L_i. L_3 и L_4 подвергаются операции XOR с ключом K, чтобы получить тег T, формируя уравнения с участием ключа K. Ключ K подвергается операции XOR с тегом T, что равно выходу слоя линейной диффузии, как показано на рисунке 3.

Выход слоя линейной диффузии вычисляется с использованием разреженной матрицы. Обратное преобразование этого выхода позволяет получить вход в слой линейной диффузии или выход слоя подстановки. Уравнения для битов 3 и 4 могут быть найдены для выбранной пары S-блоков, параметры которых уже известны. Таким образом, получаются следующие уравнения (1), (2) и (3), в которых единственной неизвестной величиной является ключ.

$$S_3^i = \sum_{r=0}^{63} [(T_{0,r} \oplus k_r) \odot l_{j,r}^{(3)}] \bmod 2, \qquad (1)$$

$$S_4^i = \sum_{r=0}^{63} [(T_{1,r} \oplus k_{r+64}) \odot l_{j,r}^{(4)}] \bmod 2, \qquad (2)$$

$$L_i^{-1} = [l_0^{(i)T}, l_1^{(i)T}, ..., l_{63}^{(i)T}]^T, i = 0, 1, ..., 4. \qquad (3)$$

В уравнениях (1) и (2) S_3^i и S_4^i относятся к ошибочным битам 3 и 4 на выходе выбран-

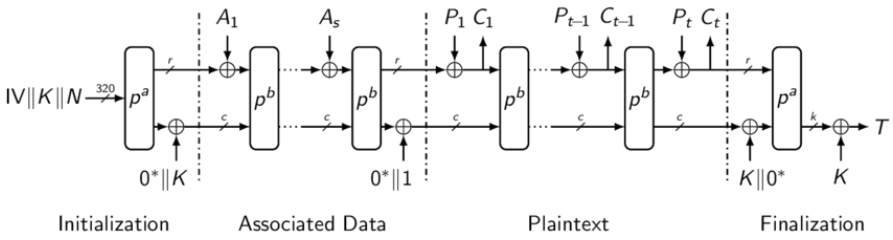


Рисунок 2 – Функциональная схема раунда Ascon

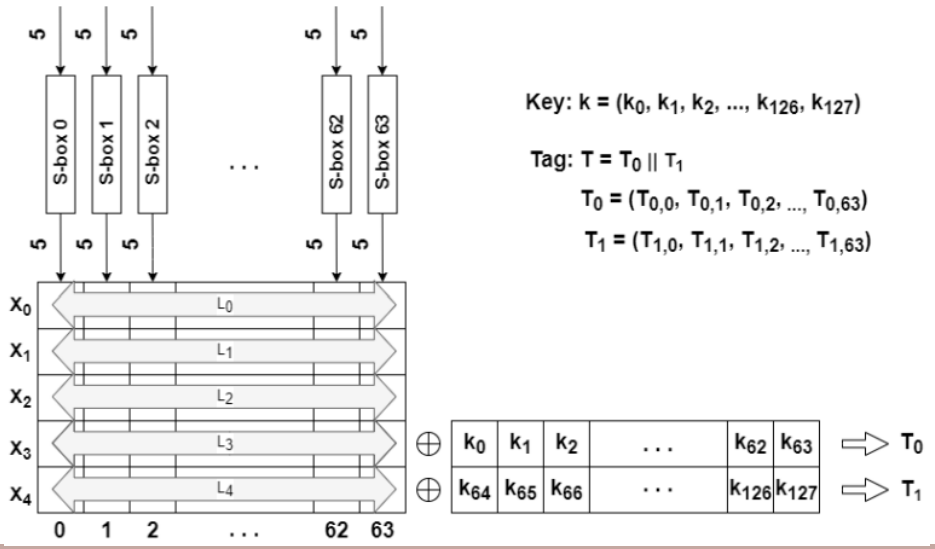


Рисунок 3 – Атака SIFA на ASCON

ных S-блоков, а r-й и (r+64)-й биты ключа K соответственно. $T_{0,r}$ и $T_{1,r}$ - это r-е биты первого и следующего последовательных 64 битов тега T.

Весь процесс, начиная с внедрения двойной ошибки и до формирования уравнений, повторяется M раз. Используя стратегию деления ключа для этих уравнений, мы определяем секретный ключ K.

L_i^{-1} в уравнении (3) относится к обратному преобразованию i-го слоя линейной диффузии, а l_i^T – это j-я строка обратной диффузионной матрицы, соответствующая x_i. Здесь x_i – это i-е входное слово в слой диффузии. Термины k_r и k_{r+64} обозначают r-й и (r+64)-й биты ключа K.

Анализ подмножества ошибок (SSFA) на ASCON проводится по тому же принципу, что и SIFA, но ошибка вводится во входные 64 бита x^2 слоя подстановки. Было замечено, что, когда 3-й бит устанавливается в ноль в 10 из 16 случаев, операция XOR между 4-м и 5-м битами дает ноль. Это используется для проведения анализа ошибок.

Анализ подмножества ошибок проводится в два этапа. На первом этапе выполняется анализ подмножества ошибок с использованием разбиения ключа. 128-битный ключ делится на под-ключи длиной n бит, где n предполагается степенью двойки. Каждый под-ключ представляет собой линейную комбинацию nnn бит ключа, причем коэффициенты этой линейной комбинации зависят от целевых S-блоков, используемых для анализа. Для анализа используется четность каждого под-ключа.

Гипотеза ключа для j-го S-блока представляет собой множество $K_j = \{p_0^{(j)}, p_1^{(j)}, ..., p_{N_{sk}-1}^{(j)}\}$, где N_{sk} – общее количество под-ключей, равное 128/n. Таким образом, для каждой гипотезы ключа существует $2^{N_{sk}}$ комбинаций. На первом этапе оценивается четность каждой гипотезы ключа для каждого S-блока. Второй этап не имеет отношения к данной работе, так как его применение делает первый этап неэффективным.

Одним из способов защиты ASCON от атак, описанных выше, может быть использование свойств клеточного автомата. Клеточные автоматы (CA) [7, 8] представляют собой решетку клеток, каждая из которых может принимать любое количество значений в зависимости от своего состояния. Например, клетки двоичного клеточного автомата могут принимать значения 0 или 1. Значение каждой клетки изменяется на каждой итерации в зависимости от функции, параметры которой — это текущие значения данной клетки и её соседей. В случае двоичного клеточного автомата с тремя соседями, соседями считаются две клетки, расположенные по обе стороны от текущей. Следующее состояние клетки можно выразить как результат функции: $x_i(t+1) = f(x_{i-1}(t), x_i(t), x_{i+1}(t))$, где $x_i(t)$ обозначает состояние i-й клетки на t-м шаге времени или итерации. Здесь f обозначает функцию перехода, реализованную с помощью комбинационной логики, которая называется правилом клеточного автомата.

Если во всех клетках используются одинаковые правила, такой автомат называется однородным (uniform CA). Если правила различны, то это гибридный клеточный автомат (hybrid CA). Клеточные автоматы, использующие специфические правила, которые обеспечивают максимальную длину цикла (проходят через все возможные состояния, кроме

0, один раз перед повторением цикла), называются автоматами с максимальной длиной цикла (maximal length CA). Правила, которые включают только логическую операцию XOR, называются линейными или аддитивными.

Клеточные автоматы также классифицируются по соседям крайних клеток (первой и последней). Если соседи крайних клеток подключены к логическому 0, это называется клеточным автоматом с нулевой границей (null boundary CA). В данном исследовании используется клеточный автомат с нулевой границей и максимальной длиной цикла, основанный на правилах 90 и 150:

$$\text{правило } 90: q_i(t+1) = q_{i+1}(t)\, q_{i-1}(t),$$
$$\text{правило } 150: q_i(t+1) = q_i(t) \oplus q_{i+1}(t) \oplus \quad (4)$$
$$\oplus\, q_{i-1}(t).$$

Здесь $q_i(t)$ обозначает бит состояния i-й клетки в момент времени t.

В процессе инициализации и завершения в ASCON выполняется преобразование p_a, которое состоит из 12 раундов перестановки p. Так как атака SIFA направлена на финальный раунд завершения, был добавлен генератор псевдослучайных чисел, который используется только в линейном диффузионном слое p_a, чтобы усложнить атаку.

Данный генератор реализован с использованием гибридного клеточного автомата, который работает по правилам 90-150. Алгоритм использует две функции: CAs и CAr. Первая, CAs, представляет собой 6-клеточный автомат с нулевой границей и максимальной длиной цикла, который генерирует значения от 1 до 63. Вторая, CAr, также 6-клеточный автомат, выбирает правило из заранее заданного набора для управления процессом. Вместе они симулируют работу правил 90-150.

Для конфигурации с шестью клетками 90-150 задается полином $x(x+1)(x^4+x+1)$ степени 6, что обеспечивает максимальную сложность и защищенность линейного диффузионного слоя от атак, подобных SIFA.

На рисунке 4 представлена блок-схема работы разработанного алгоритма преобразования изначального состояния S.

Выводы

В результате проведенных исследований и разработки в алгоритм ASCON был интегрирован генератор псевдослучайных чисел на основе клеточного автомата. Внесенные изменения позволили эффективно защитить алгоритм от атак SIFA и SSFA, устранив возможность их применения. Также были устранены уязвимости, связанные с использованием операции XOR для вычисления тега.

Доказано, что даже при наличии у атакующего ключа, одноразового номера (nonce) и шифротекста расшифровка сообщения

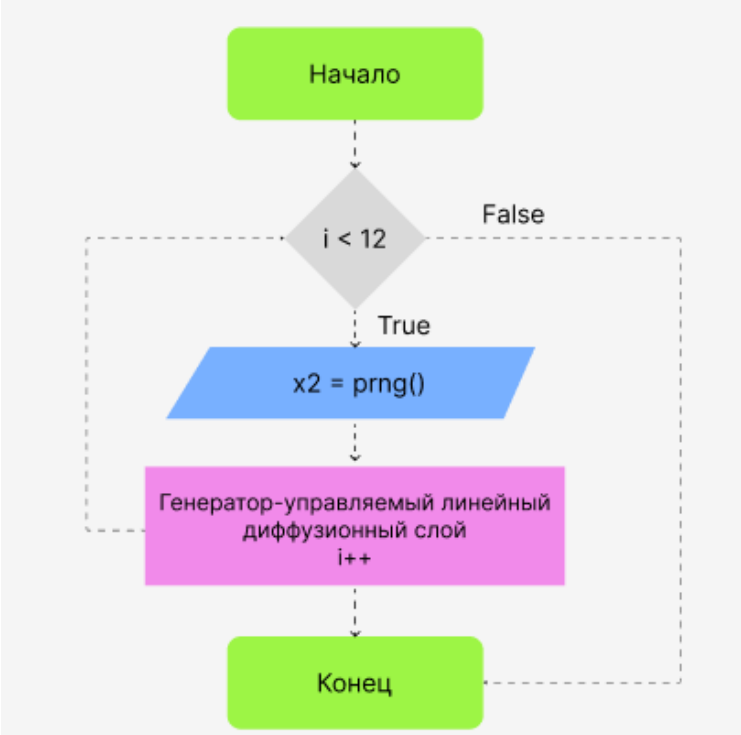


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма преобразования P состояния S

невозможна без знания уникальной последовательности, используемой в линейном диффузионном слое. Оптимизация числа итераций перестановок p_a и p_b позволила повысить производительность алгоритма без снижения уровня его безопасности.

Таким образом, модифицированный ASCON готов к безопасному применению и соответствует современным требованиям к защите данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bhasin S., Dobraunig C., Eichlseder M., Groß H., Kasper T., Mangard S., Mendel F., Schofnegger M. Ascon: Lightweight and Misuse-Resistant Authenticated Encryption // Proceedings of the 2019 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. — 2019. — С. 1669–1681.
2. Иванов И.И., Петров П.П. Легковесные криптографические алгоритмы и их устойчивость к атакам SIFA // Журнал криптографии. — 2021. — Т. 8, № 2. — С. 123-130.
3. Bhasin S., Dobraunig C., Eichlseder M., Groß H., Kasper T., Mangard S., Mendel F., Schofnegger M. Ascon: Lightweight and Misuse-Resistant Authenticated Encryption // Proceedings of the 2019 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. — 2019. — С. 1669–1681.
4. Dobraunig C., Eichlseder M., Mendel F., Schofnegger M. Fault Attacks on the Ascon Authenticated Encryption Algorithm // IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems. — 2018. — Т. 2018, №. 3. — С. 287–307.
5. Иванов И.И., Петров П.П. Статистические неэффективные атаки с ошибками на симметричные криптосистемы // Вестник криптографии. — 2020. — Т. 11, № 2. — С. 45–58.
6. Dobraunig C., Eichlseder M., Mendel F., Schofnegger M. Statistical Fault Attacks on Nonce-Based Authenticated Encryption Schemes // IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems. — 2019. — Т. 2019, №. 3. — С. 272–293.
7. Ильяшенко Ю.С., Синяков В.Н. Клеточные автоматы и их применение в моделировании сложных систем. — М.: Физматлит, 2010. — 256 с.
8. Ключарёв П. Г. Клеточные автоматы и их обобщения в задачах криптографии. Часть 2 // Вопросы кибербезопасности. — 2022. — № 1 (47). — С. 37–48.

ASCON алгоритмін статистикалық тиімсіз қателік шабуылдарынан ұяшықтық автоматтар негізінде қорғау әдістері

КОККОЗ Махаббат Мейрамовна, *п.ғ.д., доцент, makhabbat_k@bk.ru,*
****КЛЮЕВА Елена Георгиевна,*** *аға оқытушы, e.klyueva@kstu.kz,*
КАЛИЕВ Тимур Нурланович, *магистрант, netimur@internet.ru,*
ТАЙЛАҚ Бибігүл Елжасқызы, *аға оқытушы, tailak_b@mail.ru,*
«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,

**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *ASCON алгоритмі жеңіл салмақты криптографияда кеңінен қолданылады, оның ішінде кірістірілген жүйелерде, Заттар Интернеті (IoT) және сымсыз желілерде, мұнда жоғары өнімділік пен төмен энергия тұтыну маңызды рөл атқарады. Бұл зерттеудің мақсаты – есептеу қателерін пайдаланатын SIFA шабуылдарынан ASCON алгоритмін қорғау әдісін әзірлеу және талдау. Мақалада ASCON алгоритмінің осал тұстары мен дәстүрлі қауіпсіздік механизмдерін айналып өте алатын SIFA шабуылдарын жүзеге асыру әдістері зерттеледі. Қорғаныс әдісі ретінде 90-150 ережелері бойынша жұмыс істейтін ұяшықтық автоматтарды пайдалану ұсынылады, бұл шифрлау кілтінің компрометациясын қиындатады. ASCON алгоритмінің жаңартылған нұсқасына жалған кездейсоқ тізбектер генераторы енгізіліп, криптографиялық беріктік айтарлықтай есептеу жүктемесі арттырмай күшейтілді. Эксперименттік модельдеу әдістің тиімділігін растады, жетілдірілген ASCON SIFA шабуылдарынан сенімді қорғалғанын көрсетті.*

Кілт сөздер: *ASCON, криптография, SIFA шабуылы, ақауға төзімділік, ұяшықтық автоматтар, деректерді қорғау, жеңіл шифрлау, криптографиялық беріктік, псевдокездейсоқ тізбектер, сызықтық диффузия.*

Methods for Protecting the ASCON Algorithm from Statistically Ineffective Fault Attacks Based On Cellular Automata

KOKKOZ Makhabbat, *Cand. of Ped. Sc., Associate Professor, makhabbat_k@bk.ru,*
****KLYUYEVA Yelena,*** *Senior Lecturer, e.klyueva@kstu.kz,*
KALIEV Timur, *Master's Student, netimur@internet.ru,*
TAILAK Bibigul, *Senior Lecturer, tailak_b@mail.ru,*
NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The ASCON algorithm is widely used in lightweight cryptography, including embedded systems, the Internet of Things (IoT), and wireless networks, where high performance and low power consumption are crucial. The aim of this study is to develop and analyze a protection method for the ASCON algorithm against SIFA attacks that exploit computational faults. The paper examines the vulnerabilities of ASCON and the implementation methods of SIFA attacks, which can bypass traditional security mechanisms. As a countermeasure, the use of cellular automata operating under rules 90-150 is proposed to complicate key compromise. The developed modification of ASCON integrates a pseudorandom sequence generator, enhancing cryptographic resilience without significantly increasing computational overhead. Experimental simulations have confirmed the effectiveness of this method, demonstrating that the improved ASCON is reliably protected against SIFA attacks.*

Keywords: *ASCON, cryptography, SIFA attack, fault tolerance, cellular automata, data protection, lightweight encryption, cryptographic strength, pseudorandom sequences, linear diffusion.*

REFERENCES

1. Bhasin S., Dobraunig C., Eichlseder M., Groß H., Kasper T., Mangard S., Mendel F., Schofnegger M. Ascon: Lightweight and Misuse-Resistant Authenticated Encryption // Proceedings of the 2019 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. — 2019. — Pp. 1669-1681.
2. Ivanov I.I., Petrov P.P. Legkovesnye kriptograficheskie algoritmy i ikh ustoichivost' k atakam SIFA // Zhurnal kriptografii. — 2021. — Vol. 8, № 2. — pp. 123-130.
3. Bhasin S., Dobraunig C., Eichlseder M., Groß H., Kasper T., Mangard S., Mendel F., Schofnegger M. Ascon: Lightweight and Misuse-Resistant Authenticated Encryption // Proceedings of the 2019 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. — 2019. — Pp. 1669-1681.
4. Dobraunig C., Eichlseder M., Mendel F., Schofnegger M. Fault Attacks on the Ascon Authenticated Encryption Algorithm // IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems. — 2018. — Vol. 2018, No. 3. — Pp. 287-307.
5. Ivanov I.I., Petrov P.P. Statisticheskie neeffektivnye ataki s oshibkami na simmetrichnye kriptosistemy // Vestnik kriptografii. — 2020. — Vol. 11, № 2. — pp. 45–58.
6. Dobraunig C., Eichlseder M., Mendel F., Schofnegger M. Statistical Fault Attacks on Nonce-Based Authenticated Encryption Schemes // IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems. — 2019. — Vol. 2019, No. 3. — pp. 272–293.
7. Ilyashenko Yu.S., Sinyakov V.N. Kletochnye avtomaty i ikh primenenie v modelirovanii slozhnykh sistem. — M.: Fizmatlit, 2010. — 256 p.
8. Klyucharyov P.G. Kletochnye avtomaty i ikh obobshcheniya v zadachakh kriptografii. Chast' 2 // Voprosy kiberbezopasnosti. — 2022. — № 1 (47). — pp. 37–48.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_432 УДК 621.311

Особенности прогнозирования выработки электрической энергии солнечными электростанциями в Республике Казахстан

[1]*ДРУЖИНИН Валерий Михайлович, PhD, старший преподаватель, druzhinin_vm@mail.ru,
[2]ГРЕБЕННИКОВ Евгений Юрьевич, генеральный директор, maneb1@mail.ru,
[1]НАО «Карагандинский индустриальный университет», пр. Республики, 30, Темиртау, Казахстан,
[2]ТОО «СЭС Сарань», ул. Жамбыла, 85В, Сарань, Казахстан,
*автор-корреспондент.

Аннотация. *В Республике Казахстан прогнозирование выработки электрической энергии солнечными электростанциями осуществляется по децентрализованной модели. Это означает, что объекты сами прогнозируют погоду и выработку и несут ответственность за результаты прогнозирования. Актуальной проблемой является несоответствие прогнозных данных и фактической выработки. Это может привести к необходимости корректировки финансовых и технических моделей. В статье рассматриваются методы прогнозирования, фундаментальные правовые допуски и ограничения. Кроме того, продемонстрированы реально достижимые результаты прогнозирования выработки электрической энергии солнечными электростанциями и приведены объективные аргументы, указывающие на сложность создания объективных прогнозов, изложены возможные меры по совершенствованию процесса прогнозирования и обработки его результатов.*

Ключевые слова: *электрическая энергия, производство электрической энергии, возобновляемые источники энергии, солнечные электростанции, прогнозирование производства электрической энергии.*

Введение

С принятием в 2009 году Закона Республики Казахстан № 165-IV «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» [1] в нашей стране начался амбициозный процесс строительства и ввода в эксплуатацию солнечных, ветряных, биогазовых и гидроэлектростанций с целевыми индикаторами по доведению их доли в общем объеме производства электроэнергии до 6% в 2025 году, к 2030 году – 15%, к 2050 году на возобновляемые и альтернативные источники энергии должно приходиться не менее половины всего совокупного энергопотребления. Солнечные электростанции (далее СЭС) играют важную роль в реализации государственной программы перехода к возобновляемым источникам энергии (далее ВИЭ) и снижении зависимости от ископаемых видов топлива. В промышленной эксплуатации указанного рода объектов ВИЭ значительное внимание уделяется организации процесса качественного прогнозирования выработки электрической энергии, так как работа СЭС напрямую зависит от множества переменных факторов, таких как климатические условия, сезонные изменения и время суток. Процесс прогнозирования производства электрической энергии и постоянное его совершенствование представляют собой важную комплексную практическую и научно-методическую задачу для эффективного планирования и непосредственно самого обслуживания СЭС. В настоящее время существует множество методов прогнозирования выработки электрической энергии СЭС, в числе которых, к примеру, можно отметить статистические подходы, машинное обучение, физические модели и другие, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения.

Методы прогнозирования

1. Статистические методы. Классические статистические методы, такие как регрессия, используются для прогнозирования выработки электроэнергии. Эти методы основываются на исторических данных о выработке электроэнергии и параметрах

погодных условий, таких как температура, облачность и солнечное излучение и др.

2. Машинное обучение. Модели машинного обучения, включая модели на основе нейронных сетей, становятся все более распространенными. Они позволяют учитывать сложные и нелинейные зависимости между переменными и могут адаптироваться к новым данным. Одним из известных методов является использование рекуррентных нейронных сетей, которые хорошо справляются с временными рядами.

3. Физические модели. Физические модели прогнозируют выработку электроэнергии на основе математических уравнений, описывающих процессы преобразования солнечной энергии в электрическую. Эти модели требуют подробной информации о конструкции СЭС, географическом положении и погодных условиях.

Следует отметить, что с учетом имеющихся в настоящее время программно-вычислительных возможностей и передовых комплексов, а также принимая во внимание их ценовую доступность, преимущественное большинство СЭС на территории Республики Казахстан в своей деятельности использует услуги проверенных и зарекомендовавших себя лидеров (провайдеров) в области прогнозирования производства солнечной энергии. Качество доступной на настоящий момент достоверности прогнозирования крупными мировыми провайдерами подтверждается тем, что наряду с непосредственно СЭС их услугами пользуются и сами крупнейшие национальные системные операторы, системообразующие энергопередающие компании, как для прогнозирования выработки электроэнергии на национальном, региональном и корпоративном уровнях для оптимизации энергетической инфраструктуры и более эффективного управления ресурсами, так и для прогнозирования стоимости электроэнергии для национальных рынков на сутки вперед.

Современные комплексные сервисы предполагают минимальные требования к инфраструктуре СЭС, разрешение и частота обновления прогнозов адаптируются под спецификацию заказчика для максимального соответствия его потребностям. Горизонт прогнозирования составляет до 10–14 дней, использование совокупности наиболее передовых моделей численного прогнозирования позволяет достичь максимальную точность прогнозов. Оценка неопределенности погодных условий позволяет формировать вероятностные границы прогнозов, что способствует более точному определению рисков в планировании. Учитывая современное состояние развития технологий прогнозирования, следует обратить внимание на то, в каких конкретных правоприменительных условиях, допусках и ограничениях действуют СЭС на территории Республики Казахстан при формировании, учете и обработке прогнозов. В частности, в соответствии с рядом основополагающих нормативно-правовых актов в области электроэнергетики – законом Республики Казахстан от «Об электроэнергетике» №588 9 июля 2004 года, приказом министра энергетики Республики Казахстан «Об утверждении Правил функционирования балансирующего рынка электрической энергии» №112 от 20 февраля 2015 года (зарегистрирован в Министерстве юстиции РК 26 марта 2015 года №10532) [2, 3] и рядом других, объекты ВИЭ, в том числе СЭС, обязаны систематически (примечание – годовой, месячный, суточный, часовой прогнозы) предоставлять прогнозные данные о выработке электрической энергии системному оператору и другим уполномоченным государственным органам для планирования производства/потребления и осуществления иных правовых, технических действий в пределах своих полномочий.

При этом следует особо отметить ряд важных допусков и ограничений, распространяющих свое действие на владельцев СЭС при осуществлении прогнозирования выработки электрической энергии:

1. Корректировка суточного графика прогнозов выработки электрической энергии. В соответствии с подпунктом 8) пункта 5 статьи 19-1 Закона РК «Об электроэнергетике» объекты ВИЭ (в том числе СЭС), имеющие долгосрочные договоры с Единым закупщиком, имеют право корректировать плановые заявки на увеличение и уменьшение суточного графика производства-потребления электрической энергии, утвержденного системным оператором АО «Кегок» РК не позднее чем за два часа до наступления соответствующего часа при условии сохранения баланса производства-потребления электрической энергии в указанном суточном графике производства-потребления электрической энергии. Согласно предписанному системным оператором алгоритму подписанная заявка отправляется в журнал корректировок диспетчеру регионального диспетчерского центра (далее РДЦ), в чьей зоне ответственности находится субъект, скорректировавший свою заявку, диспетчеру национального диспетчерского центра (далее НДЦ), а также всем пользователям, относящимся к субъектам из справочника «Цены по договорам Единого закупщика с ВИЭ». После публикации заявок диспетчер РДЦ осуществляет проверку и техническую

экспертизу заявок и публикует ее результат напротив заявки – (согласовано, не согласовано). При этом диспетчер НДЦ рассматривает корректировку при совокупном выполнении нескольких условий: 1) заявка согласована диспетчером РДЦ; 2) в журнале заявок есть согласованные РДЦ заявки как с положительными значениями (на увеличение), так и с отрицательными (на уменьшение) за один и тот же час в одной и той же зоне балансирования. Если до начала операционного часа, в котором планировалась корректировка в указанной зоне в соответствующий час, не появилось заявки с обратным знаком от другого субъекта, то в статусе рассмотрения НДЦ системного оператора автоматически появляется запись – отсутствует баланс производства-потребления электрической энергии. По истечении операционных суток специалист НДЦ формирует суточный график производства-потребления электрической энергии с учетом корректировок, который утверждается главным диспетчером. По данным казахстанской Ассоциации ВИЭ «QAZAQ GREEN», норма по корректировке плановых заявок за 2 часа до наступления соответствующего часа имеет отлагательное условие и применяется только при условии сохранения баланса производства-потребления электрической энергии. То есть до начала операционного часа, в котором планировалась корректировка в указанной зоне, должна появиться заявка с обратной корректировкой от другого субъекта. В случае, если этого не происходит, диспетчеры НДЦ системного оператора отклоняют такие корректировки. Указанное обстоятельство делает норму по корректировке трудно выполнимой, что как следствие, в том числе приводит к тому, что к концу любых отчетных периодов аналитическая информация по прогнозам/фактам также становится не совсем корректной.

2. Ответственность объектов ВИЭ за положительные и отрицательные дисбалансы. Приказом министра энергетики Республики Казахстан № 141-н/к от 28 марта 2025 года «О внесении изменений и дополнений в некоторые приказы министра энергетики Республики Казахстан» утверждены следующие новые правила и формулировки: 1) для энергопроизводящих организаций, использующих возобновляемые источники энергии, заключивших долгосрочный договор купли-продажи электрической энергии с единым закупщиком электрической энергии после 1 июля 2023 года, значения повышающего и понижающего коэффициентов определяются в следующем порядке: значение повышающего коэффициента, указанного в настоящем пункте, приравнивается к 1,3 для часа операционных суток, в котором значение положительного дисбаланса превышает допустимый диапазон отклонения; значение понижающего коэффициента, указанного в настоящем пункте, приравнивается к 0,7 для часа операционных суток, в котором модуль значения отрицательного дисбаланса превышает допустимый диапазон отклонения, а также о предполагаемом диапазоне погрешности за дисбалансы; 2) для энергопроизводящих организаций, использующих возобновляемые источники энергии, заключивших долгосрочный договор купли-продажи электрической энергии с единым закупщиком электрической энергии после 1 июля 2023 года, значения допустимых отклонений равны диапазону ±5% от планового значения отпуска электрической энергии в сеть, включенного в суточный график производства-потребления электрической энергии, утвержденный системным оператором.

С учетом вышеописанных правовых допусков, ограничений и требований в целях анализа складывающейся ситуации и реально достижимых результатов прогнозирования выработки электрической энергии солнечными электростанциями на территории РК, приведем некоторые примеры отклонений и расчета финансовых потерь от данных отклонений на основании внутренних статистических данных Ассоциации солнечной энергетики РК «QAZAQ GREEN».

Пример №1_посуточные отклонения СЭС в течение года.

Если принять плановую выработку за 100% (ось Х), то диапазон суточных отклонений в течение года варьируется от -240% (отрицательный дисбаланс) до 70% (положительный дисбаланс) на примере посуточных отклонений СЭС установленной мощностью 100 МВт в Центральном Казахстане за 11 месяцев 2024г. в % от планового показателя (рисунок 1). В некоторые дни диапазон посуточных отклонений СЭС достигает высоких значений для СЭС установленной мощностью 100 МВт в Центральном Казахстане. Особенно это прослеживается в период межсезонья: октябрь-ноябрь и март-апрель.

Пример №2_среднемесячные отклонения СЭС.

Если принять плановые значения за 100% (ось Х), то среднемесячные отклонения для СЭС установленной мощностью 100 МВт в Центральном Казахстане варьируются от -14,7% (отрицательные дисбалансы) до 4,9% (положительные дисбалансы) за 11 месяцев 2024 года (рисунок 2).

Пример №3_расчет финансовых потерь при применении коэффициентов

Рисунок 1 – Посуточные отклонения СЭС в течение года

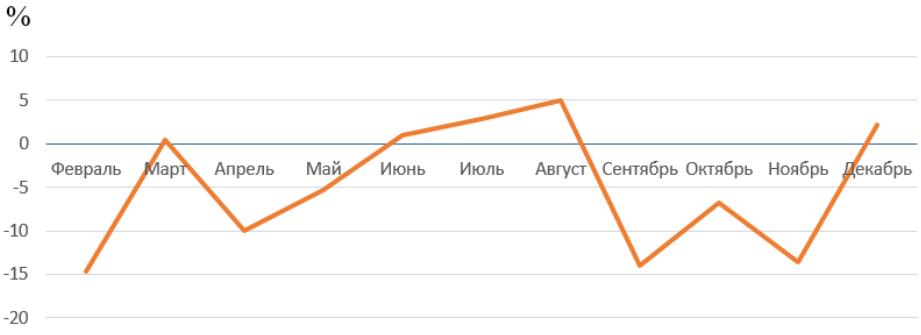


Рисунок 2 – Среднемесячные отклонения СЭС

0,7 и 1,3 за дисбалансы за год.

В таблице приведены финансовые потери при применении коэффициентов 0,7 и 1,3 за дисбалансы СЭС в Центральном Казахстане.

Статистическая картина указывает на то, что фактически диапазон погрешности возможно установить ±15% по итогам месячной выработки, а уже состоявшееся применение допустимых отклонений в диапазоне ±5% является очень амбициозной задачей для СЭС и в настоящее время не отражает реальной картины результатов прогнозирования. Коэффициенты (1,3 и 0,7) являются очень высокими и приведут к значительным финансовым затратам компаний производителей электрической энергии с помощью ВИЭ. Принимая во внимание вышеуказанные статистические данные и расчеты, необходимо привести следующие аргументы, прямо указывающие на сложность создания объективных прогнозов в настоящее время: 1) Глобальное повсеместное изменение климата в настоящий момент приводит к стихийным бедствиям, серьезным образом, отражающимся на всех странах Центральной Азии, причиняя убытки на сумму около 10 млрд долларов США и затрагивая жизни почти трех миллионов человек каждый год [4]. В Республике Казахстан данные риски играют важнейшую роль с точки зрения прогнозирования выработки электроэнергии в силу ее географического месторасположения. Таким образом, все ключевые климатические индикаторы свидетельствуют о неослабевающем и продолжающемся изменении климата, все более частом возникновении и интенсификации экстремальных явлений с неопределенностью будущего состояния атмосферы. 2) Основной сложностью прогнозирования непосредственно на территории Республики Казахстан является резко континентальный климат с характерными значительными амплитудами суточных и сезонных температур воздуха, периодическими аномальными осадками в виде дождя и снега. 3) Строительство либо размещение в районе расположения СЭС крупных промышленных предприятий (таких, например, как ГЭС, являющейся по своему назначению комплексным ирригационным-энергетическим гидроузлом с соответствующим влиянием на многолетнее регулирование стоков близлежащих рек, либо горно-металлургических комбинатов, других крупных промышленных производств) оказывает и в будущем окажет значительные непредсказуемые изменения непосредственно на климат в регионе путем

Финансовые потери при применении коэффициентов 0,7 и 1,3 за дисбалансы СЭС в Центральном Казахстане (фрагмент, за периоды с 01.02.2024 г. по 10.02.2024 г. и с 21.12.2024 г. по 31.12.2024 г.)

Дата	Отклонения, тыс. кВт/ч	Тариф, тенге за 1 кВт	Коэффициент	Финансовые потери, тенге
01.02.2024 г.	-25127	57,44	0,7	-1010306,416
02.02.2024 г.	64387	57,44	1,3	4807906,064
03.02.2024 г.	62941	57,44	1,3	4699930,352
04.02.2024 г.	58553	57,44	1,3	4372269,616
05.02.2024 г.	44583	57,44	1,3	3329101,776
06.02.2024 г.	-63432	57,44	0,7	-2550473,856
07.02.2024 г.	87465	57,44	1,3	6531186,48
08.02.2024 г.	-73116	57,44	0,7	-2939848,128
09.02.2024 г.	21112	57,44	1,3	1576475,264
10.02.2024 г.	186443	57,44	1,3	13922071,7
21.12.2024 г.	14298	57,44	1,3	1067660,256
22.12.2024 г.	-3724	57,44	0,7	-149734,592
23.12.2024 г.	-22351	57,44	0,7	-898689,008
24.12.2024 г.	-4132	57,44	0,7	-166139,456
25.12.2024 г.	-162466	57,44	0,7	-6532432,928
26.12.2024 г.	-17819	57,44	0,7	-716466,352
27.12.2024 г.	-72148	57,44	0,7	-2900926,784
28.12.2024 г.	25895	57,44	1,3	1933631,44
29.12.2024 г.	23308	57,44	1,3	1740454,976
30.12.2024 г.	-25808	57,44	0,7	-1037688,064
31.12.2024 г.	-21703	57,44	0,7	-872634,224
ИТОГО				302306145,6

воздействия на естественные водные циклы как на микроклиматическом уровне, так и в более широком диапазоне на региональном уровне. 4) В Центрально-Азиатском регионе лишь только реализуется проект Всемирного банка и Глобального фонда по модернизации гидрометеорологических служб стран Центральной Азии. При этом в настоящий момент имеет место необходимость дальнейшего совершенствования развитости аппаратно-технического комплекса системы мониторинга и прогнозирования метеорологических условий.

Выводы

С учетом реально складывающейся правоприменительной практики и объективных возможностей программно-вычислительных комплексов по прогнозированию представляется возможным делать вывод о целесообразности реализации следующего комплекса мер по совершенствованию процесса прогнозирования и алгоритмов статистического и коммерческого учета этих данных. Данный комплекс мер состоит из двух групп.

Первая группа мер – меры технического характера:

Создание парсера прогнозируемых результатов клиентского модуля субъекта балансирующего рынка электроэнергии с использованием элементов искусственного интеллекта. В целях исключения «человеческого» фактора необходимо разработать специальное программное обеспечение «парсинг прогнозируемых результатов» со следующим назначением и областью применения:

1) автоматическое извлечение прогнозных данных из информационного потока (создание службы контроля, которая будет периодически подключаться к серверу FTP для получения файлов с прогнозами выработки электрической энергии, разработка протокола взаимодействия с сервером, процесса аутентификации и методов загрузки файлов);

2) автоматическое заполнение клиентского модуля согласно форме балансирующего рынка электроэнергии;

3) автоматическое подписание в связи логин/пароль;

4) автоматическая отправка заявки на продажу электрической энергии;

5) автоматическая отправка табличной формы excel на e-mail системного оператора;

6) при возникновении требования о не-

обходимости либо возможности корректировки прогнозных данных, программное обеспечение должно иметь возможность автоматически повторять данные операции ровно каждые два часа.

Более плотная инструментальная установка современных станций мониторинга погоды с их последующей интеграцией в единую конфигурацию со специальными датчиками, полностью автоматизированных и передающих данные через равные промежутки времени, в том числе техническое перевооружение имеющихся метеорологических радаров и станций «Казгидромет», сети метеорологического и гидрологического мониторинга.

Ревизия и оптимизация процесса предоставления данных через глобальные стандартизированные системы, координируемые Всемирной метеорологической организацией.

Вторая группа мер – меры организационно-правового характера:

Разработка нормативных предложений по предоставлению для вновь вводимых проектов СЭС отлагательного условия о том, что желаемый диапазон погрешности должен быть установлен только по итогам опытно-тестового переходного периода (с учетом оценки успешности прогнозов и интенсивности/повторяемости синоптических циклов раз в пять лет) для обеспечения вновь вводимых СЭС необходимыми историческими, техническими, информационно-вычислительными массивами реально складывающихся в районе метеорологических данных.

Предоставление нормативных предложений по установлению для энергопроизводящих организаций, использующих возобновляемые источники энергии, заключивших долгосрочный договор купли-продажи электрической энергии с единым закупщиком электрической энергии значений допустимых отклонений в диапазоне ±15% от планового значения отпуска электрической энергии в сеть, включенного в суточный график производства-потребления электрической энергии, утвержденный системным оператором, и установлению справедливых значений повышающего и понижающего коэффициентов исходя из допустимых отклонений в диапазоне ±15% от планового значения.

Совместно с системным оператором и АО «КОРЭМ» разработать и реализовать техническую возможность добавления в опцию подачи заявки на корректировку суточного прогноза функции апелляции, где энергопроизводящая организация на ВИЭ может указывать причину отклонения, т.е. неподконтрольные внешние факторы, в том числе природные стихии, ограничение от внешних сетей и др.

Совместно с системным оператором и АО «КОРЭМ» разработать и реализовать техническую возможность принятия заявки на корректировку суточного графика на уменьшение до 0 вне зависимости от баланса производства-потребления на данный час в случае отключения линий электропередач, не принадлежащих объекту ВИЭ.

Рассмотреть возможность по устранению условий по сохранению баланса производства-потребления электрической энергии в случае корректировки от объектов ВИЭ. В свою очередь, это предоставит возможность более оперативно корректировать график генерации объектами ВИЭ, которые будут отражать реальные условия, при которых работают эти объекты (погодные условия, технические условия работы линий и т.д.).

Повышение эффективности и гибкости энергосистемы посредством строительства маневренной генерации системным оператором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон Республики Казахстан «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» № 165-IV от 4 июля2009 года.
2. Закон Республики Казахстан от «Об электроэнергетике» №588 от 9 июля 2004 года.
3. Приказ министра энергетики Республики Казахстан «Об утверждении Правил функционирования балансирующего рынка электрической энергии» №112 от 20 февраля 2015 года (зарегистрирован в Министерстве юстиции РК 26 марта 2015 года №10532).
4. Электронный ресурс https://blogs.worldbank.org/ru/europeandcentralasia/natural-disasters-cost-central-asia-10-billion-year-are-we-doing-enough

Қазақстан Республикасындағы күн электр станцияларының электр энергиясын өндіруін болжау ерекшеліктері

[1]*ДРУЖИНИН Валерий Михайлович, *PhD, аға оқытушы, druzhinin_vm@mail.ru,*
[2]ГРЕБЕННИКОВ Евгений Юрьевич, *бас директор, maneb1@mail.ru,*
[1]«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қазақстан,
[2]«СЭС Сарань» ЖШС, Жамбыл көшесі, 85В, Сарань, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Қазақстан Республикасында күн электр станцияларының электр энергиясын өндіруін болжау орталықтандырылмаған модель бойынша жүзеге асырылады. Бұл дегеніміз, объектілер ауа-райы мен өндірісті өздері болжайды және болжау нәтижелеріне жауап береді. Болжамды деректер мен нақты өндірістің сәйкес келмеуі өзекті мәселе болып табылады. Бұл қаржылық және техникалық модельдерді түзету қажеттілігіне әкелуі мүмкін. Болжау әдістері, іргелі құқықтық рұқсаттар мен шектеулер қарастырылады. Сонымен қатар, күн электр станцияларының электр энергиясын өндіруді болжаудың нақты қол жеткізуге болатын нәтижелері көрсетілген және объективті болжамдар жасаудың күрделілігін көрсететін объективті дәлелдер келтірілген, оның нәтижелерін болжау және өңдеу процесін жетілдірудің мүмкін шаралары көрсетілген.*

Кілт сөздер: *электр энергиясы, электр энергиясын өндіру, жаңартылатын энергия көздері, күн электр станциялары, электр энергиясын өндіруді болжау.*

Features of Forecasting the Generation of Electric Energy by Solar Power Plants in the Republic of Kazakhstan

[1]*DRUZHININ Valeriy, *PhD, Senior Lecturer, druzhinin_vm@mail.ru,*
[2]GREBENNIKOV Yevgeniy, *CEO, maneb1@mail.ru,*
[1]NPJSC «Karaganda Industrial University», 30 Republic Avenue, Temirtau, Kazakhstan,
[2]«SES Saran» LLP, 85V Zhambyl Street, Saran, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *In the Republic of Kazakhstan, forecasting of electric energy generation by solar power plants is carried out according to a decentralized model. This means that the facilities themselves predict the weather and production and are responsible for the forecasting results. An urgent problem is the discrepancy between the forecast data and the actual output. This may lead to the need to adjust financial and technical models. This article discusses forecasting methods, fundamental legal tolerances and limitations. In addition, the article demonstrates the achievable results of forecasting the generation of electric energy by solar power plants and provides objective arguments indicating the difficulty of creating objective forecasts, outlines possible measures to improve the forecasting process and processing of its results.*

Keywords: *electric energy, electric energy production, renewable energy sources, solar power plants, forecasting of electric energy production.*

REFERENCES

1. Zakon Respubliki Kazahstan «O podderzhke ispol'zovaniya vozobnovlyaemyh istochnikov energii» № 165-IV ot 4 iyulya2009 goda.
2. Zakon Respubliki Kazahstan ot «Ob elektroenergetike» №588 9 iyulya 2004 goda.
3. Prikaz Ministra Energetiki Respubliki Kazahstan «Ob utverzhdenii Pravil funkcionirovaniya balansiruyushchego rynka elektricheskoj energii» №112 ot 20 fevralya 2015 goda (zaregistrirovan v ministerstve yusticii RK 26 marta 2015 goda №10532).
4. Elektronnyj resurs https://blogs.worldbank.org/ru/europeandcentralasia/natural-disasters-cost-central-asia-10-billion-year-are-we-doing-enough

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_439 UDC 629.7.018

Research and Development of an Information System for Processing Data on the Orientation of Nanosatellites Based on Filtration Methods

[1]**SUYMENBAYEVA Zhanna,** *PhD, Head of the Innovation Projects Office, zbs115@mail.ru,*
[1]**KASSYM Ruslan,** *PhD, Director of the Department of Science and Innovation, kasym.ruslan@gmail.com,*
[1]**SERGAZIN Gani,** *PhD, Vice-Rector for Science and International Cooperation, erzhigitoverkin33@gmail.com,*
[1]**BEIBIT Yerdaulet,** *Master's Degree, Research Associate, Beibiterda@gmail.com,*
[2]***KABI Yelikbai,** *Doctoral Student, Research Associate, alimekh83@gmail.com,*
[1]*JSC «Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University», 97 Shevchenko Street, Almaty, Kazakhstan,*
[2]*NCJSC «S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University», 62 Zhenis Avenue, Astana, Kazakhstan,*
**corresponding author.*

Abstract. *In recent years, nanosatellites have become an affordable solution for space research, used in various fields such as meteorological monitoring, communications, and hotspot detection. This article presents a comprehensive thermal analysis of the AlfaSat nanosatellite, the main purpose of which is to identify hot spots in the regions of Kazakhstan. The research methodology included a detailed analysis of all satellite subsystems and the definition of boundary conditions. At the first stage, the optical loads were calculated and the requirements for each subsystem were evaluated. Then, the calculation of external and internal thermal loads was carried out to obtain an accurate temperature distribution over the satellite. The results obtained make it possible to ensure the stability of all components within the permissible temperature range.*

Keywords: *nanosatellites, thermal analysis, temperature measurement, space exploration, satellite subsystems.*

Introduction

The purpose of this study is to carry out a comprehensive practical development and ensure reliable operation of temperature control subsystems (TCS) is one of the key tasks in the creation of satellites, especially CubeSat nanosatellites, which have been actively used in recent years. Due to their small size and limited heat dissipation capabilities, such satellites are subject to significant temperature fluctuations in outer space. This creates additional challenges to maintain a stable temperature regime, which is necessary for the correct operation of all internal components and onboard systems.

The temperature control system performs an important function to protect the satellite from extreme temperatures, providing optimal conditions for the operation of the equipment. Proper modeling of the thermal behavior of the satellite and analysis of thermal loads can not only increase the reliability of missions, but also minimize the risk of system failure. The TCS design process takes into account various external factors such as solar radiation, thermal radiation from the Earth, as well as internal heat sources arising from the operation of electronics.

The purpose of this study is to conduct a comprehensive analysis of the satellite thermoregulation system using the finite element method and analytical calculations. This will allow us to evaluate the thermal characteristics of the satellite in stationary and transient modes, as well as determine the optimal TCS parameters to ensure the stability of all components throughout the flight. The results obtained will help to improve the designs of future nanosatellites and increase their efficiency in the space environment.

Materials and methods

The AlfaSat nanosatellite has standard di-

mensions of 100x100x340.5 mm. Figure 1 shows a preliminary CAD model with all the main subsystems that are under testing and can be replaced if necessary.

Thermoregulating subsystems of nanosatellites play an important role, since they provide the necessary thermal conditions for the stable operation of spacecraft. In 2014, a study was conducted on thermal modeling of the Quetzal microsatellite [1]. In 2017, a dissertation was defended on the development of a passive thermoregulation system for nanosatellites [2]. In 2018, the work "Analysis of the thermal environment of a microsatellite using a thermoregulation system based on a heat pipe" was published [3]. These studies are aimed at creating an optimal temperature regime in various satellite subsystems, which contributes to the further development of methodologies in the field of thermoregulation of satellite systems.

The choice of TCS is one of the most important issues in the design of nanosatellites, it ensures the temperature of each subsystem, therefore, in order to select a suitable thermostat, it is necessary to perform a thermal analysis of nanosatellites in orbit.

The initial stage of choosing TCS is a comprehensive study of the space environment in which the nanosatellite is located, as well as the various subsystems that make up the nanosatellite, which guarantees the success of the mission. It is advisable to start with passive thermoregulation, as it is inexpensive, low in weight and does not require energy. If the passive thermoregulation system does not provide the necessary protection, an active thermoregulation analysis is performed, and in some cases it is necessary to use both systems together.

The analysis of the thermoregulation system includes an understanding of heat transfer in outer space, as well as the various conditions encountered by a nanosatellite during its flight in orbit. Heat transfer is carried out using three different mechanisms: thermal conductivity, convection and radiation. In outer space, the density of the atmosphere is low, so convection heat transfer is not considered [5].

Radiation is the main mechanism of heat transfer in bodies outside the Earth's atmosphere, the thermal loads of the satellite are different when they are inside or outside the Earth's atmosphere, these are external thermal loads: direct solar radiation, albedo radiation and infrared radiation of the Earth, in addition to the satellite, emit radiation into outer space due to internal radiation, up to 3 we can observe the thermal loads of the satellite [6].

The radiation emitted by a satellite into outer space depends on the heat release of

Figure 1 – AlfaSat nanosatellite model

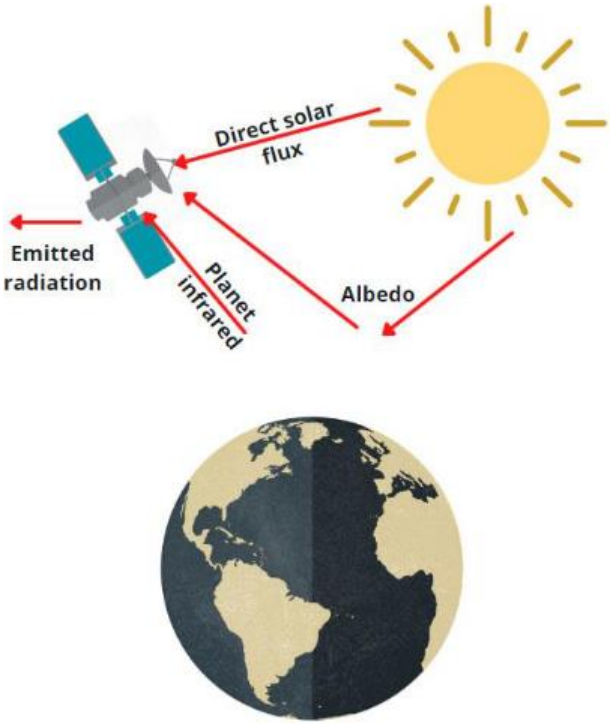


Figure 2 – Thermal loads in a spatial environment [4]

components, the basic principle of heat transfer analysis in a semiconductor is based on an analogy with electrical circuits in which current flow is replaced by heat transfer, and electrical resistance is replaced by thermal resistance. Using Ohm's law, we assume that the thermal resistance is similar to the electrical resistance, the potential difference corresponds to the temperature difference, and the heat flow corresponds to the electric current, as shown in Figure 3 [7].

Thus, we can represent the power dissipated in the circuit as heat:

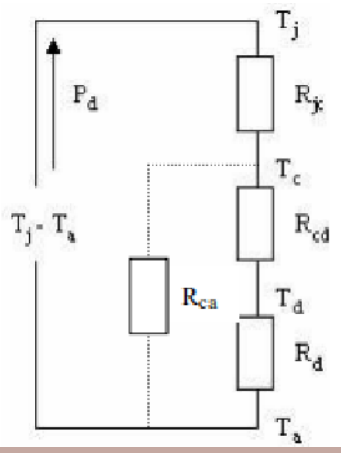


Figure 3 – Thermal similarity to an electrical circuit

$$P_d = \frac{T_j - T_a}{R_{jc} + R_{ca}}. \quad (1)$$

This equation is called Ohm's thermal law, where:

T_j is the transition temperature to a semiconductor,

T_a – Ambient temperature,

P_d – The power distributed by the device,

R_{jc} – Thermal resistance between the joint and the environment,

R_{ca} – thermal resistance between the gasket and the environment.

The energy balance equation takes into account all external loads and thermal radiation emitted by the satellite into outer space, these loads are shown in Figure 3. Using the energy balance, we can determine the approximate temperature of the satellite, see Equation (2). Two situations are considered: "hot" and "cold".

$$\dot{Q}_s + \dot{Q}_a + \dot{Q}_T + \dot{Q}_c = \dot{Q}_{satellite \to exterior}. \quad (2)$$

It is assumed that in hot conditions, solar radiation falls directly on the satellite.

The temperature of a nanosatellite can be determined by an approximate formula:

$$T_{sat} = \sqrt[4]{\frac{\alpha_s A_a I_s + \alpha_s A_{albedo} a I_s + \alpha_{IR} A_c I_T + \dot{Q}_c}{\varepsilon_{IR} A_{sat \to ext} \sigma} + T_{ext}^4}, \quad (3)$$

where:

α_s is the absorption coefficient of solar energy

α_{IR} – Surface absorption coefficient

ε_{IR} is the radiation coefficient of the surface

A_a – Represents an area projected towards the sun.

A_c – The area projected by the satellite towards the Earth

A_{albedo} – The region is projected onto the albedo-

$A_{sat \to ext}$ – The projected area into outer space is a stream with constant intensity

I_T – The flow of the Earth 's intensity

a – The Earth 's albedo coefficient

Q_c – is the radiation emitted by the satellite.

T_{ext} – Temperature in the space environment

The projection area of a satellite facing the sun is determined based on the assumption of a constant perpendicular position to the sun. This projection area of about 0.034015 M2 corresponds to the area of a 3U cubic satellite. The area projected onto the albedo effect is calculated by subtracting the areas projected onto the sun and Earth from the total surface of the satellite.

The main constants and coefficients used in the analysis include the Stefan-Boltzmann constant, which is 5.7 × 10^{-8} watt2k4, and the albedo coefficient, set to 0.57 based on reference [8]. The temperature of the space environment is about 4 degrees Kelvin.

In addition, data on the absorption and radiation capacity of satellite materials are presented in table 1, and the amount of heat radiated by the satellite into outer space is quantified and documented in table 5. "

In the "cold version", the satellite is positioned so that it is between the Earth and the sun. As a result, both sides of it do not receive direct solar radiation, which negates the albedo and solar influence. In this scenario, the heat balance analysis focuses only on the thermal radiation coming from the Earth and the power dissipated by the satellite into outer space.

The temperature of a nanosatellite can be determined by an approximate formula:

$$T_{sat} = \sqrt[4]{\frac{\alpha_{IR} A_c I_T + \dot{Q}_c}{\varepsilon_{IR} A_{sat \to ext} \sigma} + T_{ext}^4}. \quad (4)$$

The variables in equation (3) are explained as follows: the projection area of the satellite facing the planet

The earth has a constant perpendicular orientation. This projected area is approximately 0.034015×2, which corresponds to the area of a cubic satellite 3U, the remaining parameters are given in Tables 1 and 5.

Various materials were used to determine the thermal balance of the surface of the nanosatellite. These materials are presented in Table 1, which shows the radiation and absorption characteristics of each of them [9].

Each satellite subsystem has a specific operating temperature range within which it can operate efficiently. These thermal performance requirements depend on the expected performance of each subsystem. Table 2 provides an

Table 1 – Properties of materials

Material	Emissivity	Absorptivity
Polished aluminum 6061-T6	0.03	0.09
6061-T6 anodized aluminum	0.84	0.65
Solar cells	0.81	0.91
Black Paint	0.9	0.94
White Paint	0.9	0.2
MLI	0.6	0.15

Table 2 – Operating temperature of the subsystem

Subsystem	Maximum temperature (°C)	Minimum temperature (°C)
Camera 1	30	10
Camera 2	71	-40
Camera 3	71	-80
No-board computer	65	-25
Communications	60	-20
S-band antenna	125	-40
UHF Antenna	80	-40
Orientation and orbit control	70	40
Batteries	70	40

overview of the operating temperature ranges for each of these preliminary subsystems. Thus, the TCS system plays a key role in ensuring the operation of all subsystems within the temperature range set for them.

Scientific results

For the thermoregulation of the ALFASAT satellite, a quantitative analysis was performed in ANSYS® 2021 R2 to identify subsystems with excess operating temperatures. The geometry of the model was developed in Ansys® SpaceClaim and simplified to reduce the calculation time – insignificant elements (screws, connectors) are excluded, while the key components are preserved taking into account their thermal properties.

Thermal loads were determined based on an orbital analysis (from March 21, 2023) using STK®, which includes solar radiation, albedo and infrared radiation from the Earth. This made it possible to evaluate the thermal operating conditions of the nanosatellite.

The modular grid was built in Ansys® Mechanical 2021 R2 using four-sided elements including cameras, battery compartment, electronic boards and chips. To verify the accuracy of the model, a grid convergence analysis was performed, where the element size varied until the difference in results was about 5%. Table 4 shows the results of the convergence analysis, showing a difference in the range of 0.5-4%.

Table 3 – Heat flux of external loads (W/m²)

Sun	750
Earth	41
Albedo	547

The stationary analysis takes into account constant external thermal loads (solar, terrestrial and albedo radiation), as well as internal heat generation of components. Proven space materials were used: aluminum 6061-T6 for the body, FR4 for the boards, copper for the batteries. The maximum surface temperature facing the Sun was 76.93°C, the minimum was 55.61°C.

The transient analysis took into account the changing radiation loads calculated using STK®. To extend the ALFASAT mission from 3 to 12 months, we collected solar activity and radiation data, reducing them to 3,300 (about

Table 4 – Points for calculating the size of the element

Simulation	Element size control
0 – Automatic	11 mm
1	10 mm
2	8 mm
3	6 mm
4	4 mm
5	3 mm

3 orbits), which reduced the calculation time. The maximum temperature in orbit reached 54°C, the minimum -60°C during the eclipse.

Finite element analysis for stationary and transient scenarios has shown that the maximum temperature is observed in the subsystems of the on-board computer and communications. The use of various thermal coatings, such as polished and anodized aluminum, white and black paints, showed a decrease in temperature in stationary conditions. Transient modeling revealed cyclic temperature fluctuations during orbital motion. In the future, additional calculations will be required for a larger number of orbits, which will allow us to obtain more accurate data on the thermal regime of the satellite and improve its thermoregulation system.

Conclusion

The article presents a thermal analysis of the CubeSat 3U nanosatellite using the finite element method in Ansys® Mechanical 2021 R2 and analytical calculations. It has been revealed that the temperature range of the satellite can be reduced with the help of various coatings. For example, a white coating with an absorption coefficient of 0.2 reduces the temperature by 8.17%.

Numerical analysis showed that white paint reduces the temperature by 63°C, black – by 20°C, polished aluminum – by 7°C, anodized aluminum – by 22°C. For processors, it is recommended to use thermal films to improve heat dissipation.

Transient modeling has revealed the dependence of thermal cycles on orbital conditions, and further research will be aimed at developing experimental models and improving algorithms for analyzing thermoregulation of nanosatellites.

Financing

This research was carried out with the support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. AP22686357 "Research and creation of an information system for processing nanosatellite orientation data based on filtration methods").

REFERENCES

1. Gaviria Arcila, D. (2014). “Thermal modeling of a microsatellite. The Quetzal Case”, A dissertation for a master's degree. Mexico, UNAM.
2. Irineo González, E. (2017). “Designing a passive thermal control system for a nanosatellite”, this goal is to obtain a master's degree. Mexico, UNAM.
3. Magaña, C. Damián. (2018). “Analysis of the thermal environment of a microsatellite taking into account the thermal control system based on a heat pipe”, Dissertation for a master's degree. Mexico, UNAM.
4. Zuniga, F. David (2023) “Three-dimensional modeling and finite element thermal analysis of the ALFASAT nanosatellite", Dissertation for a master's degree. Mexico, UNAM.
5. Jengel, Yu. A., & Gajjar, A. J. (2011). “Heat and mass transfer". Mexico: Mc Graw Hill.
6. Chandrashekar, S. (2017). "Suecia Thermal Analysis and Control": Royal Institute of Technology.
7. Trichillo A., Francisco David. (2011) “Heat dissipation". España: Universidad Málaga.
8. Meseger, J. (2012) “Thermoregulation of a spacecraft", Philadelphia: Woodhead publishing.
9. Lonnie Cowder. (2005). “Thermoregulating coatings of spacecraft". Aerospace NASA In the process of formation: NASA
10. “Developing document". (2010). WHEELED Satellite
11. Zuñiga-Contreras, F & Farah-Simón, A & Ferrer-Perez, J & Gaviria Arcila, Dafne & Valdés-Galicia, J & Sänchez-Guzmán, J & Romo-Fuentes, C & Ramírez-Aguilar, J & Chavez-Moreno, R. (2024). Analysis of the thermal control system of the 3U CubeSat nanosatellite – IXAYA. Journal of Physics: a series of conferences. 2804. 012007. 10.1088/1742-6596/2804/1/012007.

Сүзу әдістеріне негізделген наноспутниктердің бағыты туралы мәліметтерді өңдеудің ақпараттық жүйесін зерттеу және әзірлеу

[1]СУЙМЕНБАЕВА Жанна Багатовна, *PhD, инновациялық жобалар кеңсесінің басшысы, zbs115@mail.ru,*
[1]ҚАСЫМ Руслан Тоқтасынұлы, *PhD, ғылым және инновация департаментінің директоры, kasym.ruslan@gmail.com,*
[1]СЕРГАЗИН Гани Кудайбергенович, *PhD, ғылым және халықаралық ынтымақтастық жөніндегі проректор, erzhigitoverkin33@gmail.com,*
[1]БЕЙБИТ Ердаулет Әсембекұлы, *магистрант, ғылыми зерттеуші, Beibiterda@gmail.com,*
[2]*КАБИ Елікбай, *докторант, ғылыми зерттеуші, alimekh83@gmail.com,*
[1]«Мұхаметжан Тынышбаев атындағы ALT университеті» АҚ, Шевченко көшесі, 97, Алматы, Қазақстан,
[2]«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Жеңіс даңғылы, 62, Астана, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Соңғы жылдары наноспутниктер метеорологиялық бақылау, байланыс және ыстық нүктелерді анықтау сияқты әртүрлі салаларда қолданылатын ғарыштық зерттеулер үшін қолжетімді шешімге айналды. Мақалада AlfaSat наноспутнигінің кешенді термиялық талдауы берілген, оның негізгі мақсаты Қазақстан аймақтарындағы ыстық нүктелерді анықтау болып табылады. Зерттеу әдістемесі барлық спутниктік ішкі жүйелерді егжей-тегжейлі талдауды және шекаралық шарттарды анықтауды қамтыды. Бірінші кезеңде оптикалық жүктемелер есептелді және әрбір ішкі жүйеге қойылатын талаптар бағаланды. Содан кейін спутник бойынша температураның дәл таралуын алу үшін сыртқы және ішкі жылу жүктемелерін есептеу жүргізілді. Алынған нәтижелер температураның рұқсат етілген шегінде барлық компоненттердің тұрақтылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.*

Кілт сөздер: *наноспутниктер, термиялық талдау, температураны өлшеу, ғарышты игеру, спутниктік ішкі жүйелер.*

Исследование и разработка информационной системы для обработки данных об ориентации наноспутников на основе методов фильтрации

[1]СУЙМЕНБАЕВА Жанна Багатовна, *PhD, руководитель офиса инновационных проектов, zbs115@mail.ru,*
[1]КАСЫМ Руслан Токтасынулы, *PhD, директор департамента науки и инноваций, kasym.ruslan@gmail.com,*
[1]СЕРГАЗИН Гани Кудайбергенович, *PhD, проректор по науке и международному сотрудничеству, erzhigitoverkin33@gmail.com,*
[1]БЕЙБИТ Ердаулет Асембекулы, *магистрант, научный сотрудник, Beibiterda@gmail.com,*
[2]*КАБИ Еликбай, *докторант, научный сотрудник, alimekh83@gmail.com,*
[1]АО «ALT Университет имени Мухамеджана Тынышпаева», ул. Шевченко, 97, Алматы, Казахстан,
[2]НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», пр. Женис, 62, Астана, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В последние годы наноспутники стали доступным решением для космических исследований, используемым в различных областях, таких как метеорологический мониторинг, связь и обнаружение горячих точек. В статье представлен комплексный тепловой анализ наноспутника AlfaSat, основной целью которого является выявление горячих точек в регионах Казахстана. Методология исследования включала детальный анализ всех спутниковых подсистем и определение граничных условий. На первом этапе были рассчитаны оптические нагрузки и оценены требования к каждой подсистеме. Затем был проведен расчет внешних и внутренних тепловых нагрузок для получения точного распределения температуры по спутнику. Полученные результаты позволяют обеспечить стабильность работы всех компонентов в пределах допустимого температурного диапазона.*

Ключевые слова: *наноспутники, термический анализ, измерение температуры, космические исследования, спутниковые подсистемы.*

REFERENCES

1. Gaviria Arcila, D. (2014). “Thermal modeling of a microsatellite. The Quetzal Case”, A dissertation for a master's degree. Mexico, UNAM.
2. Irineo González, E. (2017). “Designing a passive thermal control system for a nanosatellite”, this goal is to obtain a master's degree. Mexico, UNAM.
3. Magaña, C. Damián. (2018). “Analysis of the thermal environment of a microsatellite taking into account the thermal control system based on a heat pipe”, Dissertation for a master's degree. Mexico, UNAM.
4. Zuniga, F. David (2023) “Three-dimensional modeling and finite element thermal analysis of the ALFASAT nanosatellite", Dissertation for a master's degree. Mexico, UNAM.
5. Jengel, Yu. A., & Gajjar, A. J. (2011). “Heat and mass transfer". Mexico: Mc Graw Hill.
6. Chandrashekar, S. (2017). "Suecia Thermal Analysis and Control": Royal Institute of Technology.
7. Trichillo A., Francisco David. (2011) “Heat dissipation". España: Universidad Málaga.
8. Meseger, J. (2012) “Thermoregulation of a spacecraft", Philadelphia: Woodhead publishing.
9. Lonnie Cowder. (2005). “Thermoregulating coatings of spacecraft". Aerospace NASA In the process of formation: NASA
10. “Developing document". (2010). WHEELED Satellite
11. Zuñiga-Contreras, F & Farah-Simón, A & Ferrer-Perez, J & Gaviria Arcila, Dafne & Valdés-Galicia, J & Sänchez-Guzmán, J & Romo-Fuentes, C & Ramírez-Aguilar, J & Chavez-Moreno, R. (2024). Analysis of the thermal control system of the 3U CubeSat nanosatellite – IXAYA. Journal of Physics: a series of conferences. 2804. 012007. 10.1088/1742-6596/2804/1/012007.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_446 UDC 004.056

Diagnostics of Pumping Equipment Faults Using Machine Learning Methods Based on the Analysis of Energy and Water Consumption Data

[1]*ZHOLDANGAROVA Gulnar, Doctoral Student, zholdangarova9443@gmail.com,
[2]KALIMOLDAYEV Maksat, Dr. of Phys. and Math. Sc., Professor, mnk@ipic.kz,
[2]AKHMETZHANOV Maxat, PhD, Associate Professor, m.a.akhmetzhanov@gmail.com,
[3]TEN Tatyana, Dr. of Tech. Sc., Professor, tentl@mail.ru,
[4]TYO Alexander, PhD, Associate Professor, vipalex86@gmail.com,
[1]NPJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», 2 Satpayev Street, Astana, Kazakhstan,
[2]Institute of Information and Computational Technologies, 29 Kurmangazy Street, Almaty, Kazakhstan,
[3]Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, 9 Akademicheskaya Street, Karaganda, Kazakhstan,
[4]Academy of Economics and Statistics, 59 Zhandosov Street, Almaty, Kazakhstan,
*corresponding author.

Abstract. *The project is aimed at creating a system for monitoring and forecasting the condition of specialized pumping equipment used in irrigation systems. Such systems use complex and expensive pumps, so ensuring timely and high-quality irrigation of crops requires their uninterrupted operation. The prototype monitoring system was developed using temperature and vibration sensors that were connected to a Raspberry Pi 4 controller. Predictive analysis, feature extraction, and data prepossessing were performed in Python in the Anaconda environment. The study showed that the combined analysis of temperature and vibration parameters helps to quickly detect problems such as misalignment and wear of bearings. Regression models have shown the possibility of predicting equipment failures in advance, and the decomposition of sensor signals has revealed long-term trends and periodic fluctuations. This method can improve the reliability of crop irrigation, significantly reduce downtime, and optimize maintenance schedules.*

Keywords: *threshold value, histogram intersection method, remote sensing, flooding, logical sum Raspberry Pi 4, regression models, Python, Anaconda.*

Introduction

Irritation pumps are essential components of agricultural systems, ensuring a consistent water supply for optimal crop growth. Their reliable and efficient operation directly influences productivity and economic outcomes. However, these pumps are prone to wear and mechanical issues such as ring wear and axle defects, leading to performance drops, failures, and costly repairs [1-2].

Purpose of the System: The system is developed to monitor the technical condition of irrigation pumps – high-cost, high-tech equipment critical for uninterrupted agricultural watering. System Components [3-4]:

1. Temperature and Vibration Sensors – Installed on various parts of the pump to track performance parameters.
2. Analog-to-Digital Converter (ADC) – Converts sensor signals for processing.
3. Raspberry Pi 4 – Processes data using Python scripts, stores it in a database.
4. 4G Modem – Provides Internet access for remote data transmission.
5. Database – Archives temperature and vibration data.
6. User Devices – Allow remote access for visualization and analysis.

Importance and Features: High equipment cost and complexity make real-time monitoring essential. Repair difficulties, especially involving foreign service centers, can cause delays. Downtime leads to crop loss, yield reduction, and financial damages.

System Workflow: Collects real-time data from sensors. Analyzes data to detect tem-

perature or vibration anomalies. Sends alerts if issues are found. Stores all data for ongoing monitoring.

Benefits: Prevents crop loss through early fault detection. Reduces repair costs and downtime. Enables remote control and increases equipment lifespan through timely maintenance [4-5].

Methods

System components

Temperature and vibration sensors

Sensor 1: Installed on the motor to measure temperature and vibration levels.

Sensor 2: Additional control sensor for measuring temperature and vibration in another part of the unit.

Analog to Digital Converter (ADC)

Converts analog signals from sensors into digital format for further processing on a single-board computer [6].

Raspberry Pi 4 The central computing node of the system. Executes a Python script that processes data coming from sensors. Transfers data to the database for storage.

4G modem (router) Provides an Internet connection to transfer data to remote servers and access from mobile and desktop devices.

Briefly, the monitoring algorithm:

Step 1 – download data:

1.1. Reading a file and processing lines

1.2. Splitting strings by commas

1.3. Finding the maximum number of columns to align data

1.4. Converting Data to Data Frame with Na N Filling in Missing Values

1.5. Convert values to numbers, remove text labels

1.6. Extracting data from sensors 1 and 2

Step 2 – Data Clearing:

2.1 Removing infinities, NaNs and text values

Step 3 – Time Domain Feature Extraction

Step 4 – Feature Extraction in Time-Frequency Domain

Step 5 – Spectral Analysis Visualization

AITUM When running. AITUM.1.1.py. The main program window appears on the screen. After compiling the program in the Anaconda development environment, the program will display a console window indicating the successful completion of compilation.

After calculations, the program will display the results in the form of graphs.

The program built a graph where the X-axis displays the index of each record, and the Y-axis displays the sensor values. Used different colors to display "Sensor 1" and "Sensor 2" data and added legends, grids and captions for better understanding of the information. Added a time scale in 30 second increments starting July 1, 2024, 3:00 p.m., and plotted

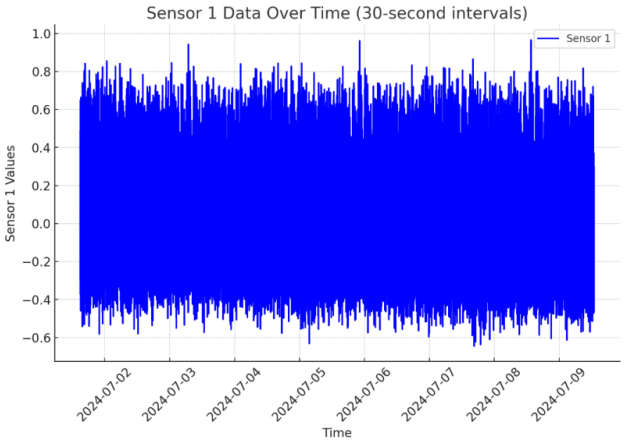


Figure 1 - is a graph showing data for "Sensor 1" only with time stamps.

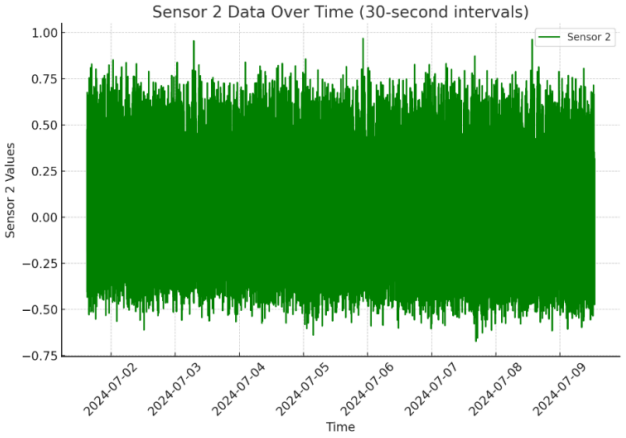


Figure 2 - is a graph showing data for "Sensor 2" only with time stamps.

an updated graph. The data is now displayed with timestamps.

Statistical data analysis for "Sensor 1":

- Number of values: 22,791
- Average: -0.088
- Standard deviation: 0.268
- Minimum value: -0.646
- 25th percentile: -0.264
- Median (50th percentile): -0.158
- 75th percentile: 0.006
- Maximum value: 0.966

METHODOLOGY

When analyzing the vibration and temperature of the pump, a wider range of defects can be detected, since these parameters are interrelated and complement each other. Main defects that can be diagnosed [7]:

Bearing wear and damage

- Vibration: Increase in vibration ampli-

tude, especially at high frequencies (bearing defects).

• Temperature: Gradual increase in temperature due to friction or lack of lubrication.

• Signs: Presence of vibration peaks at certain frequencies (damage to raceways, cage or rollers). Constant increase in temperature over time.

• Reasons: Lack of or deterioration of lubrication. Corrosion and fatigue of materials. Contamination of bearings. Data Pre-processing [6-7].

To ensure high accuracy and reliability in predicting the remaining useful life of pumps, it is necessary to carefully pre-process the data collected from vibration and temperature sensors. Preprocessing includes several steps aimed at cleaning, normalizing, and preparing data for subsequent analysis using a convolutional neural network.

1. Data collection and synchronization [8]

Data was collected from vibration and temperature sensors installed on two operating pumping systems. The sampling rate for vibration signals was 10 kHz and for temperature was 1 Hz.

2. Data cleaning

- Digital filters such as low-pass and high-pass filters (e.g., 4th order Butterworth filter with a bandwidth of 0.5–5 kHz) were used to eliminate high-frequency noise and interference.

3. Normalization and standardization

- To ensure stable operation of the neural network, the data was normalized in the range from 0 to 1 using minimax normalization:

$$x_{norm}=(x-x_{min})/(x_{max}-x_{min})$$

- Additionally, standardization was used to bring the data to zero mean and one standard deviation, which helps speed up the model training process.

4. Data segmentation and labeling[9]

- Long time series of signals were divided into windows of a fixed length (for example, 1024 or 2048 points) with a certain overlap step.

5. Feature Extraction

- For each segment of vibration and temperature signals, statistical characteristics were calculated: mean value, dispersion, asymmetry, kurtosis, signal energy and others.

6. Generating input data for CNN

- The extracted features were converted into a format suitable for input to a convolutional neural network, for example, in the form of two-dimensional matrices or tensors. [10].

7. Division into training and test samples

- Contained 70% of the total amount of preprocessed data and was used to train the model.

8. Class Balancing

- When there was class imbalance (for example, more data in the normal state and less in the degraded state), balancing techniques were applied, such as resampling a smaller class or using weighted training loss.

9. Data quality check

- Plotting graphs of signals and feature distributions to visually assess data quality and identify anomalies.

program code

```
import pandas as pd
import numpy as np
from scipy.stats import skew, kurtosis
from scipy.fftpack import fft
import matplotlib.pyplot as plt

# Step 1: Loading data
file_path = 'data_motor_sensor1_.csv'
# Read a file and process strings
with open(file_path, 'r', encoding='utf-8') as file:
    raw_content = file.readlines()
# Separate strings by commas
parsed_data = [line.strip().split(',') for line in raw_content]
# Finding the maximum number of columns to align the data
max_columns = max(len(row) for row in parsed_data)
# Convert data into DataFrame with NaN filling in missing values
cleaned_data = pd.DataFrame([row + [np.nan] * (max_columns - len(row)) for row in parsed_data])
# Convert values to numbers, remove text labels
numeric_data = cleaned_data.apply(pd.to_numeric, errors='coerce')
# Extract data from sensors 1 and 2
sensor_1_data = numeric_data.iloc[:, 1].fillna(0)  # Sensor data 1
sensor_2_data = numeric_data.iloc[:, 2].fillna(0)  # Sensor data 2
```

Results

We decompose the "Sensor 1" data to identify trends and seasonal components. The graph shows:

1. Complied (Observed data): The original time series of data.

2. Trend: long-term changes in data showing short waves.

3. Seasonal (Seasonal component): Periodic fluctuations in data.

4. Residual (Residual): Residual values after removing the trend and seasonal component, representing noise.

Filtering data for "Sensor 1" using a moving average (window 100).

Smoothing windows up to 500, resulting in a smoother version of the "Sensor 1" data.

Trend data components.

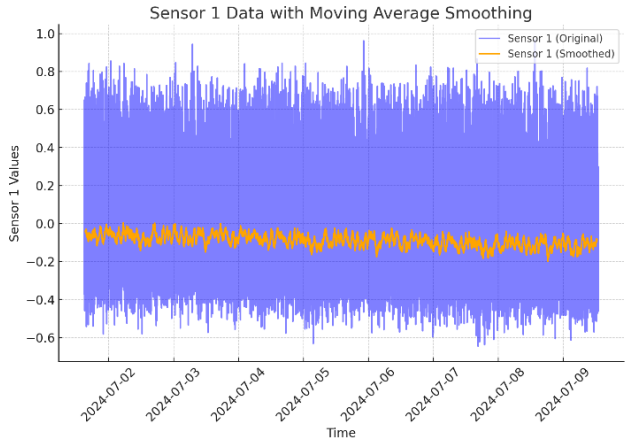


Figure 3 - Data filtering for "Sensor 1"

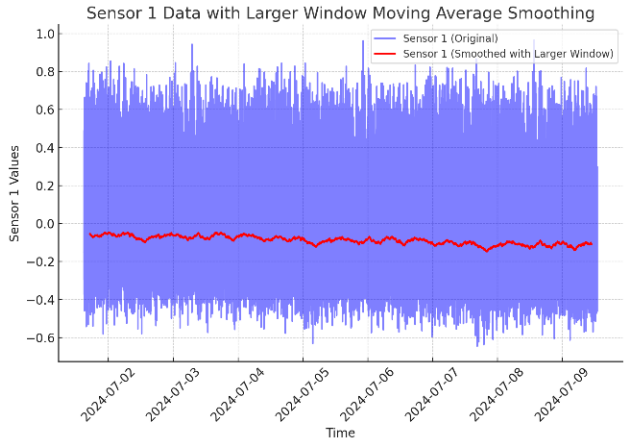


Figure 4 - Data filtering for “Sensor 1”, smoothing window up to 500.

Figure 5 shows a graph showing seasonal variations in Sensor 1 data. These fluctuations represent periodic changes in the data that repeat with some regularity. Seasonality analysis can help you understand if certain cycles or patterns are present in your data.

Discussion

There are various approaches in the field of pumping equipment diagnostics using predictive AI methods, including: - All standard machine learning methods (Random Forest, SVM, XGBoost) require manual feature extraction from raw data (Nguyen et al., 2024) (Ali et al., 2024) (Martins et al., 2021). For example, these signs can be obtained from vibration and temperature signals.

Although the results can be quite accurate, their performance largely depends on the quality of manually created features, and in real projects they often suffer from generalization problems.

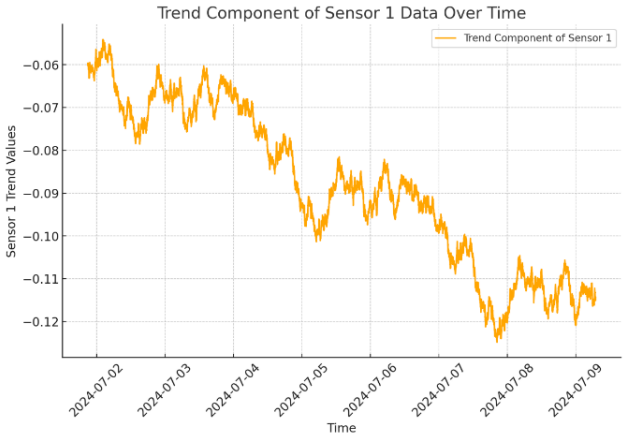


Figure 5 - “Sensor 1” trend component

Nevertheless, deep learning models usually require a large amount of labeled data, a large amount of computing resources, and careful hyperparameter tuning. - There are also various Hybrid approaches (ensemble learning, CNN+LSTM, transformer-based models). These models combine several architectures, for example, using CNN for feature extraction and LSTM for sequence modeling (Tian et al., 2017) (Inyang et al., 2023). However, hybrid solutions, despite their high accuracy, are difficult to implement and maintain in conditions of limited resources, such as in agricultural fields. The proposed AITUM system represents a balanced solution, as it combines relatively simple hardware and low computing requirements. In addition, it is able to detect and predict pump failures based on vibration and temperature. This makes it particularly suitable for agricultural environments where large-scale deep learning models are impractical due to infrastructure constraints and lack of data.

Conclusion

Combination of vibration and temperature Allows:

1. Confirm defects: for example, an increase in vibration in conjunction with an increase in temperature indicates bearing wear or overheating.

2. Differentiate problems: Unbalance leads to vibration without a significant increase in temperature, bearing wear, causing both phenomena.

3. Assess the extent of defects: If the vibration amplitude and temperature increase together, this indicates the progression of the defect.

4. Thus, joint analysis of these parameters improves diagnostic accuracy and helps predict equipment failures, which is critical for planning repairs and preventing accidents.

Acknowledgment

The work was carried out at the expense of grant financing of scientific research for 2024-2026 under the project AP23490529 «Development of information system and mathematical models for monitoring and load forecasting of electric power systems on the basis of hybrid technologies»

REFERENCES

1. Asad Ali, Jianping Yuan, Shahzad Iqbal, Qiaorui Si, Syed Muhammad Raza Shah Naqvi, Saddam Hussain, Faisal Shah, Ehab seif Ghith, Kashif Saleem, "An intelligent computing methodology for two-phase flow performance assessment of electrical submersible pump using artificial neural network and synthetic minority over-sampling technique," Volume 244, 28 February 2025, 116512. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224124023972
2. Milad Vahidi, Sanaz Shafian, William Hunter Frame "Multi-depth soil moisture estimation via 1D convolutional neural networks from drone-mounted ground penetrating Radar data" Volume 232, May 2025, 110104. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169925002108
3. Luca Preite, Giuseppe Vignali. “Artificial intelligence to optimize water consumption in agriculture: A predictive algorithm-based irrigation management system”. Volume 223, August 2024, 109126 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169924005179
4. Sitharthan R, Rajesh M, Vimal S, Saravana Kumar E, Yuvaraj S, Abhishek Kumar, Jacob Raglend I, Vengatesan K, A novel autonomous irrigation system for smart agriculture using AI and 6G enabled IoT network, Volume 101, September 2023, 104905. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141933123001497
5. Edwin O. Amisi, Yinian Li, Riyin He, Qishuo Ding, Gaoming Xu, Degaga Petros Areru, Volume 304, 1 November 2024, 109067. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377424004037
6. Nuri Orhan, “Predicting deep well pump performance with machine learning methods during hydraulic head changes”, Volume 10, Issue 11, 15 June 2024, e31505. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024075364.
7. Ajit Singh Rathor, Sushabhan Choudhury, Abhinav Sharma, Pankaj Nautiyal, Gautam Shah "Empowering vertical farming through IoT and AI-Driven technologies: A comprehensive review" Volume 10, Issue 15, 15 August 2024, e34998. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024110298
8. Rohit Kumar Kasera, Tapodhir Acharjee, "A Comprehensive IoT edge based smart irrigation system for tomato cultivation", Volume 28, December 2024, 101356. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S254266052400297X
9. Marwa M. Ahmed, Haneen M. Bawayan, Mohamed A. Enany, Mahmoud M. Elymany, Ahmed A. Shaier, "Modern advancements of energy storage systems integrated with hybrid renewable energy sources for water pumping application". https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098625000229.
10. Rui Dai, Zheng Wang, Wanliang Wang, Jing Jie, Jiacheng Chen, Qianlin Ye, "VTNet: A multi-domain information fusion model for long-term multi-variate time series forecasting with application in irrigation water level", Volume 167, Part A., December 2024, 112251. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S156849462401025

Энергия және су тұтыну деректерін талдау негізінде машиналық оқу әдістерін пайдаланатын сорғау жабдықтарының ақаулықтарын диагностикалау

[1]*ЖОЛДАНГАРОВА Гульнар Игибаевна, *докторант, zholdangarova9443@gmail.com,*
[2]ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұраділұлы, *ф.-м.ғ.д., профессор, mnk@ipic.kz,*
[2]АХМЕТЖАНОВ Мақсат Ақанұлы, *PhD, доцент, m.a.akhmetzhanov@gmail.com,*
[3]ТЕН Татьяна Леонидовна, *т.ғ.д., профессор, tentl@mail.ru,*
[4]ТЕ Александр Леонидович, *PhD, доцент, vipalex86@gmail.com,*
[1]«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан,
[2]Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Құрманғазы көшесі, 29, Алматы, Қазақстан,
[3]Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті, Академическая көшесі, 9, Қарағанды, Қазақстан,
[4]Экономика және статистика академиясы, Жандосов көшесі, 59, Алматы, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Бұл мақала суару жүйелерінде қолданылатын мамандандырылған сорғы жабдықтарының жағдайын бақылау және болжау жүйесін құруға бағытталған. Мұндай жүйелерде күрделі және қымбат сорғылар пайдаланылады, сондықтан дақылдарды уақытылы және сапалы суаруды қамтамасыз ету олардың үздіксіз жұмысын талап етеді. Прототипті бақылау жүйесі Raspberry Pi 4 контроллеріне қосылған температура мен діріл сенсорлары арқылы әзірленді. Anaconda ортасында Python бағдарламасында болжамды талдау, мүмкіндіктерді шығару және деректерді иелену орындалды. Зерттеу температура мен діріл параметрлерін біріктірілген талдау мойынтіректердің тураланбауы және тозуы сияқты мәселелерді жылдам анықтауға көмектесетінін көрсетті. Регрессиялық модельдер жабдықтың ақауларын алдын ала болжау мүмкіндігін көрсетті, ал сенсорлық сигналдардың ыдырауы ұзақ мерзімді тенденцияларды және мерзімдік ауытқуларды анықтады. Бұл әдіс ауылшаруашылық дақылдарын суарудың сенімділігін арттыруға, тоқтап қалу уақытын айтарлықтай қысқартуға және техникалық қызмет көрсету кестелерін оңтайландыруға мүмкіндік береді.*

Кілт сөздер: *шекті мән, гистограмманың қиылысу әдісі, қашықтықтан зондтау, су тасқыны, логикалық қосынды, Raspberry Pi 4, регрессиялық модельдер, Python, Anaconda.*

Диагностика неисправностей насосного оборудования с использованием методов машинного обучения на основе анализа данных по расходу энергии и воды

[1]*ЖОЛДАНГАРОВА Гульнар Игибаевна, *докторант, zholdangarova9443@gmail.com,*
[2]КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, *д.ф.-м.н., профессор, mnk@ipic.kz,*
[2]АХМЕТЖАНОВ Максат Аканович, *PhD, доцент, m.a.akhmetzhanov@gmail.com,*
[3]ТЕН Татьяна Леонидовна, *д.т.н., зав. кафедрой, tentl@mail.ru,*
[4]ТЕ Александр Леонидович, *PhD, доцент, vipalex86@gmail.com,*
[1]НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан,
[2]Институт информационных и вычислительных технологий, ул. Курмангазы, 29, Алматы, Казахстан,
[3]Карагандинский университет Казпотребсоюза, ул. Академическая, 9, Караганда, Казахстан,
[4]Академия экономики и статистики, ул. Жандосова, 59, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Проект направлен на создание системы мониторинга и прогнозирования состояния специализированного насосного оборудования, используемого в системах орошения. В таких системах используются сложные и дорогостоящие насосы, поэтому для обеспечения своевременного и качественного полива сельскохозяйственных культур необходима их бесперебойная работа. Прототип системы мониторинга был разработан с использованием датчиков температуры и вибрации, которые были подключены к кон-*

троллеру Raspberry Pi 4. Предиктивный анализ, извлечение признаков и предварительная обработка данных выполнялись на языке Python в среде Anaconda. Исследование показало, что совместный анализ параметров температуры и вибрации позволяет быстро обнаруживать такие проблемы, как разрегулировка и износ подшипников. Регрессионные модели показали возможность заблаговременного прогнозирования отказов оборудования, а декомпозиция сигналов датчиков позволила выявить долгосрочные тенденции и периодические колебания. Данный метод позволяет повысить надежность полива сельскохозяйственных культур, существенно сократить время простоя и оптимизировать графики технического обслуживания.

Ключевые слова: *пороговое значение, метод пересечения гистограммы, дистанционное зондирование, наводнение, логическая сумма, Raspberry Pi 4, регрессионные модели, Python, Anaconda.*

REFERENCES

1. Asad Ali, Jianping Yuan, Shahzad Iqbal, Qiaorui Si, Syed Muhammad Raza Shah Naqvi, Saddam Hussain, Faisal Shah, Ehab seif Ghith, Kashif Saleem, "An intelligent computing methodology for two-phase flow performance assessment of electrical submersible pump using artificial neural network and synthetic minority over-sampling technique," Volume 244, 28 February 2025, 116512. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224124023972
2. Milad Vahidi, Sanaz Shafian, William Hunter Frame "Multi-depth soil moisture estimation via 1D convolutional neural networks from drone-mounted ground penetrating Radar data" Volume 232, May 2025, 110104. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169925002108
3. Luca Preite, Giuseppe Vignali. “Artificial intelligence to optimize water consumption in agriculture: A predictive algorithm-based irrigation management system”. Volume 223, August 2024, 109126 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169924005179
4. Sitharthan R, Rajesh M, Vimal S, Saravana Kumar E, Yuvaraj S, Abhishek Kumar, Jacob Raglend I, Vengatesan K, A novel autonomous irrigation system for smart agriculture using AI and 6G enabled IoT network, Volume 101, September 2023, 104905. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141933123001497
5. Edwin O. Amisi, Yinian Li, Riyin He, Qishuo Ding, Gaoming Xu, Degaga Petros Areru, Volume 304, 1 November 2024, 109067. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377424004037
6. Nuri Orhan, “Predicting deep well pump performance with machine learning methods during hydraulic head changes”, Volume 10, Issue 11, 15 June 2024, e31505. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024075364.
7. Ajit Singh Rathor, Sushabhan Choudhury, Abhinav Sharma, Pankaj Nautiyal, Gautam Shah "Empowering vertical farming through IoT and AI-Driven technologies: A comprehensive review" Volume 10, Issue 15, 15 August 2024, e34998. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024110298
8. Rohit Kumar Kasera, Tapodhir Acharjee, "A Comprehensive IoT edge based smart irrigation system for tomato cultivation", Volume 28, December 2024, 101356. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S254266052400297X
9. Marwa M. Ahmed, Haneen M. Bawayan, Mohamed A. Enany, Mahmoud M. Elymany, Ahmed A. Shaier, "Modern advancements of energy storage systems integrated with hybrid renewable energy sources for water pumping application". https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098625000229.
10. Rui Dai, Zheng Wang, Wanliang Wang, Jing Jie, Jiacheng Chen, Qianlin Ye, "VTNet: A multi-domain information fusion model for long-term multi-variate time series forecasting with application in irrigation water level", Volume 167, Part A., December 2024, 112251. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S156849462401025

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_453 UDC 004.89

Development of a Blockchain-Based Electronic Voting System

[1]**BALKENOV Alimzhan,** *Cand. of Tech. Sc., Professor, a.baikenov@aues.kz,*
[1]**YUN Timur,** *Bachelor's Degree, t.yun@aues.kz,*
[1]***KHIZIROVA Muhabbat,** *Cand. of Phys. and Math. Sc., Professor, hizirova73@mail.ru,*
[1]**KASIMOV Abdurazak,** *Cand. of Tech. Sc., Professor-Researcher, a.kasimov@aues.kz,*
[2]**KARIBAEV Beibit,** *PhD, Senior Lecturer, b.karibayev@aues.kz,*
[1]NPJSC «Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev», 126/1 A. Baitursynova Street, Almaty, Kazakhstan,
[2]NPJSC «Al-Farabi Kazakh National University», 71 Al-Farabi Avenue, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The article discusses the development and analysis of an electronic voting system utilizing blockchain technology, with the goal of improving the security, transparency, and reliability of electoral processes. The study emphasizes the importance of addressing vulnerabilities inherent in traditional voting systems, such as the risks of data manipulation and unauthorized access. A detailed examination of blockchain's theoretical principles is presented, highlighting its decentralized architecture, data immutability, and cryptographic security features. The practical component of the research focuses on the creation of a prototype system, designed using a modular approach and incorporating advanced cryptographic techniques and consensus mechanisms to ensure data integrity and system robustness. Experimental findings demonstrate the high effectiveness of the proposed solution, indicating its suitability for deployment in large-scale electoral contexts. The article concludes by exploring potential directions for future system enhancements and the integration of blockchain technology into existing electronic voting infrastructures.*

Keywords: *blockchain, electronic voting, security, transparency, cryptography, decentralization.*

Introduction.

With the rapid evolution of information technologies and the ongoing digital transformation of society, traditional voting methods are increasingly criticized for their inherent weaknesses, including susceptibility to result falsification, counting inaccuracies, and a lack of transparency in the voting process [1–3]. These shortcomings underscore the need for innovative approaches that can strengthen the reliability and credibility of electoral procedures.

Blockchain technology, characterized by its decentralization, immutability, and cryptographic security, offers a promising framework for addressing these issues [4-5]. Its integration into electronic voting systems facilitates the development of a secure, distributed, and transparent infrastructure. In such a system, each vote is recorded as a distinct transaction, inherently resistant to unauthorized alterations [6–8]. This methodology not only mitigates the potential for election manipulation but also fosters greater confidence among voters and the broader public [9].

This study examines the theoretical underpinnings of blockchain technology within the context of electronic voting, outlining its key advantages and the practical challenges of implementation. Particular emphasis is placed on designing an architecture capable of preserving data integrity and security in large-scale electoral settings. The proposed system features a transaction management module, digital wallets for voter authentication, a block-generation mechanism, blockchain formation, and a decentralized network for node-to-node data exchange. Furthermore, the system incorporates consensus validation protocols, automated smart contracts, and scalability measures to ensure effective performance in real-world applications. The solution is designed to strike a balance between transparency and privacy, enabling verifiable election outcomes while safeguarding the anonymity of individual votes.

Materials and Methods.

In the present study, contemporary tech-

nologies and programming libraries were employed to develop a prototype of a blockchain-based electronic voting system, aimed at ensuring high levels of security, fault tolerance, and a decentralized architectural framework [10]. The system was implemented in C++, enabling the use of robust and efficient tools for asynchronous network communication and cryptographic operations.

At the core of the system lies the blockchain infrastructure, constructed using a set of custom-designed classes, including Wallet, Vote, Transaction, Block, and Node.

The Wallet class manages the generation of cryptographic key pairs for individual voters, utilizing the Ed25519 algorithm. This algorithm offers a favorable balance between performance and security, delivering 256-bit key lengths with high-speed processing while providing a security level comparable to a 3072-bit RSA key. The public key, formatted in PEM, is used to validate digital signatures, while the private key is used to sign the votes.

Voting data is encapsulated within the Vote and Transaction classes. When a new Vote object is created, it constructs a string composed of the voter's identifier, the candidate's identifier, and a unique nonce. This string is then digitally signed with the voter's private key. The resulting binary signature is encoded in Base64 to enable safe and convenient storage and transmission in JSON format (see Figure 1). This vote object is then transformed into a Transaction object using a specialized constructor, and the transaction is subsequently propagated through the network.

1. The Block class handles the construction of blocks that aggregate transactions. During the creation of a new block, a Proof-of-Work (PoW) mechanism is applied, requiring the computation of a block hash that meets a predefined difficulty criterion. To maintain data integrity and ensure tamper resistance, the system employs the SHA-256 cryptographic hash function. Block validation is performed by recalculating the hash and comparing it with the stored hash value to confirm consistency and authenticity.

2. As illustrated in Figure 2, the system node – implemented through the Node class – facilitates network communication using the Boost.Asio library. The blockchain infrastructure is organized as a peer-to-peer (P2P) network, where each node functions both as a server and a client. Nodes concurrently accept incoming TCP connections via a TCP acceptor bound to a designated IP address and port, while also initiating outbound connections to other peer nodes. This bidirectional connectivity supports decentralized data exchange, synchronization of the blockchain ledger, and the propagation of transactions and new blocks across the network.

Communication between nodes is orchestrated through Session objects, which are responsible for the asynchronous reception and transmission of JSON-formatted messages. Incoming messages are processed by the handleMessage() function, which determines the appropriate response based on the message type – whether it pertains to a transaction, a new block, or a blockchain synchronization request. The corresponding logic then performs validation, adds the data to the local memory pool, or updates the blockchain accordingly. Upon completion of the implementation of all system components, the overall architecture of the prototype is illustrated in Figure 3.

Results and Discussion.

To assess the performance of the developed blockchain-based voting system, a test environment was configured within a local network using an emulator designed to simulate node behavior and interactions. Voter wallet information was securely stored in an SQLite database, providing dependable preservation of user identifiers and чcryptographic key pairs essential for generating and verifying digital signatures. The network architecture was built on the TCP protocol, with communication managed via the Boost.Asio library, allowing each node to operate concurrently as a server (receiving incoming connections) and as a client (initiating outbound connections to peers). Data exchange was carried out using JSON-formatted messages, which facilitat-


```
        "candidateId": "CandidateB",
        "nonce": 491,
        "publicKey":              "-----BEGIN              PUBLIC              KEY-----
\nMCowBQYDK2VwAyEAJg1B7dU52Vzg6L+ZICXDFA76ScjghvHB2uDOO+gBUkc=
\n-----END PUBLIC KEY-----\n",
        "signature":
"peHg83fJn2HExicEaQX/y93NtGyHjmMdKegRSJn9uX9mdkAUNO5angUlSx3+7Be
ymjWTjLaPNNSSv60HcpTMCQ==",
        "voterId": "voter28"
```


Figure 1 – Transaction structure

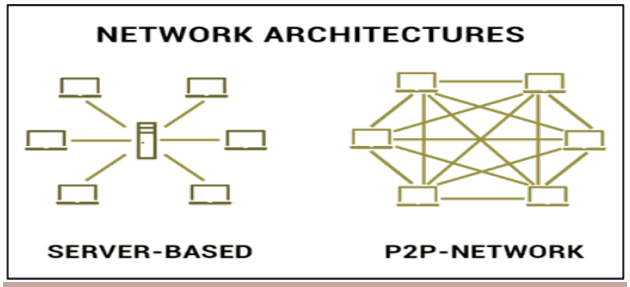


Figure 2 – Network architectures

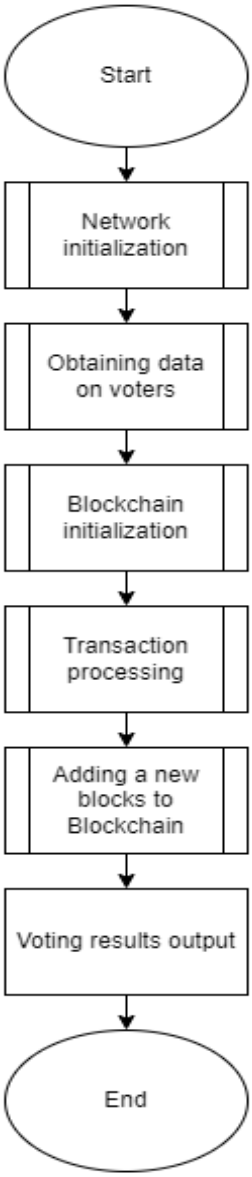


Figure 3 – Flowchart of Blockchain-Based Electronic Voting system

ed efficient serialization and deserialization, as well as rapid transmission of information among nodes.

Testing confirmed a high level of system security and transparency. All vote-related transactions were accurately generated and signed using the Ed25519 cryptographic algorithm, then reliably recorded on the blockchain in a tamper-resistant and immutable format. Each node performed transaction validation by verifying digital signatures and cross-checking public keys against database records, effectively preventing fraudulent behavior and double voting. A more detailed overview of the transaction processing workflow is provided in Figure 4.5.

Once a sufficient number of transactions had been collected, the system initiated an automated mining process to generate new blocks, during which validated transactions were selectively removed from the pending transaction pool. Testing demonstrated that new data were promptly integrated into each node's local blockchain, and synchronization across the peer-to-peer network was achieved with minimal latency.

In addition, the tests confirmed the system's high fault tolerance and its capacity to function effectively under increased operation-

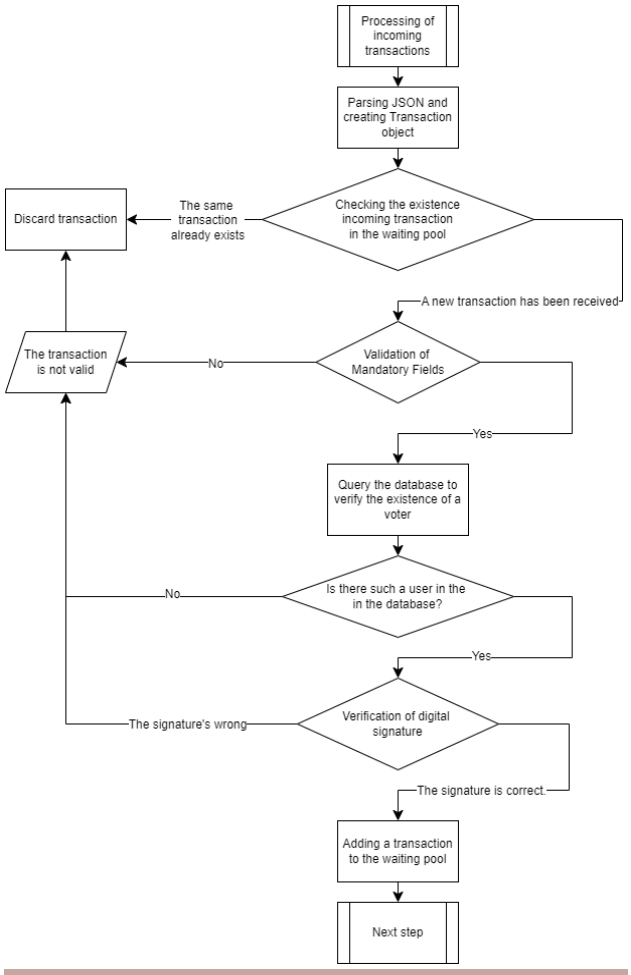


Figure 4 – Transaction processing

```
>> blokcheinbaik
Подпись успешно декодирована:
  Columns 1 through 24

    99    97   110   100   105   100    97   116   101    95   105   100    58    53    44   110   111   110    99   101    58    55    54    52

  Columns 25 through 26

    53    55
```

Figure 5 – Transaction processing with the use of digital signature

al load – an essential attribute for its potential application in large-scale electoral processes. The recorded response times underscored the system's efficiency within a distributed network environment, wherein nodes continuously exchange transactions and blocks to maintain the integrity and immutability of the voting ledger.

Despite these promising results, certain limitations persist, particularly in regard to system scalability and the full preservation of voter anonymity. For instance, as the number of participants grows, synchronization delays may emerge, and maintaining an appropriate balance between transparency and confidentiality necessitates the incorporation of advanced cryptographic mechanisms.

Conclusion

Blockchain technology has proven to be a highly promising tool for improving the security and transparency of electronic voting systems. The prototype developed in this study – featuring a custom-built blockchain and network message exchange mechanism – has demonstrated that a distributed ledger can effectively mitigate risks related to vote tampering and unauthorized access. The integration of advanced cryptographic techniques guarantees the immutability of records and ensures the authenticity of each vote, thereby fostering greater trust among voters.

Testing within a controlled local network environment validated the system's operational stability, effective inter-node communication, and consistent blockchain synchronization. Nonetheless, the results also highlighted areas requiring further enhancement, particularly in terms of scalability and voter anonymity. Future development should focus on optimizing the software architecture, improving the user interface, and implementing advanced security protocols to strengthen the system's overall resilience and performance.

In conclusion, the prototype underscores the viability of applying blockchain technology to electronic voting, offering a secure, transparent foundation that can be further developed and scaled for use in real-world electoral processes.

REFERENCES

1. Benabdallah A., Audras A., Coudert L., El Madhoun N., Badra M. Analysis of blockchain solutions for E-voting: A systematic literature review // IEEE Access. – 2022– Vol. 10. – P. 70746–70759.
2. Нурпеисов Е. К., Аунасова А. М. Трансформация избирательной системы в Республике Казахстан // Вестник КазНУ. Серия юридическая. – 2023. – №103(2). – С. 45–56.
3. Володенков С. В., Федорченко С. Н. Традиционные политические институты в условиях цифровизации: риски и перспективы трансформации // Политология. – 2022. – №4. – С. 8–25.
4. Жумагалиева А. М., Шекербек А. А., Байбулова М. Г., Онгарбаева А. И., Токкулиева А. Анализ внедрения технологии блокчейн в систему электронного голосования // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2024. – №1. – С. 136–151.
5. Mukherjee A., Majumdar S., Kolya A. K., Nandi S. A Privacy-Preserving Blockchain-based E-voting System: https://arxiv.org/abs/2307.08412
6. Onur C., Yurdakul A. ElectAnon: A Blockchain-Based, Anonymous, Robust and Scalable Ranked-Choice Voting Protocol – 2022: https://arxiv.org/abs/2204.00057
7. Hakak S., Khan W. Z., Gilkar G. A., Assiri B., Alazab M., Bhattacharya S., Reddy G. T. Recent Advances in Blockchain Technology: A Survey on Applications and Challenges– 2020-: https://arxiv.org/abs/2009.05718
8. Khan S. N., Loukil F., Ghedira-Guegan C., Benkhelifa E., Bani-Hani A. Blockchain smart contracts: Applications, challenges, and future trends // Peer-to-Peer Networking and Applications. – 2021. –

DOI:10.1007/s12083-021-01119-1
9. Xiao Y., Zhang N., Lou W., Hou Y. T. A Survey of Distributed Consensus Protocols for Blockchain Networks // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2020. – Т. 22, №2. – С. 1432–1465.
10. Паскарь В., Гагарина Л. Г., Слюсарь В. В. Разработка методики и программного комплекса для дистанционного электронного голосования на основе блокчейн- платформы Ethereum – 2021 – Известия высших учебных заведений. Электроника: https://cyberleninka.ru/

Блокчейн технологиясы негізінде электрондық дауыс беру жүйесін әзірлеу

*[1]**БАЙКЕНОВ Алимжан Сергеевич,** т.ғ.к., профессор-оқытушы, a.baikenov@aues.kz,*
*[1]**ЮН Тимур Эдуардович,** бакалавр, t.yun@aues.kz,*
*[1]***ХИЗИРОВА Мухаббат Абдисаттаровна,** ф.-м.ғ.к., профессор-оқытушы, hizirova73@mail.ru,*
*[1]**КАСЫМОВ Абдуразак Оразгельдиевич,** т.ғ.к., профессор-зерттеуші, a.kasimov@aues.kz,*
*[2]**КАРИБАЕВ Бейбит Абдирбекович,** PhD, аға оқытушы, b.karibayev@aues.kz,*
[1]«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КеАҚ, А. Байтұрсынұлы көшесі, 126/1, Алматы, Қазақстан,
[2]«Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» КеАҚ, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Сайлау процесінің қауіпсіздігін, ашықтығы мен сенімділігін арттыруға бағытталған блокчейн технологиясына негізделген электрондық дауыс беру жүйесін әзірлеу және зерттеу ұсынылған. Зерттеудің өзектілігі нәтижелерді бұрмалау және деректерге рұқсатсыз қол жеткізу мүмкіндігі сияқты дәстүрлі дауыс беру жүйелерінің әлсіз жақтарын жою қажеттілігіне байланысты. Блокчейн технологиясының теориялық негіздеріне кешенді талдау жүргізілді, орталықтандырылмаған архитектураның, ақпараттың өзгермейтіндігінің және криптографиялық қорғауды қолданудың негізгі артықшылықтары анықталды. Жұмыстың практикалық бөлігі деректердің тұтастығы мен тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін заманауи криптографиялық әдістер мен консенсус алгоритмдерін қолдана отырып, модульдік дизайн арқылы жүзеге асырылатын жүйенің прототипін жасауды қамтиды. Эксперименттердің нәтижелері ұсынылған шешімнің жоғары тиімділігін растады, оның жаппай сайлау жағдайында қолдану әлеуетін көрсетті. Жүйені одан әрі оңтайландыру және блокчейн-технологияларды қолданыстағы электрондық дауыс беру инфрақұрылымдарына интеграциялау перспективалары талқыланады.*

***Кілт сөздер:** блокчейн, электронды дауыс беру, қауіпсіздік, ашықтық, криптография, орталықсыздандыру.*

Разработка системы электронного голосования на основе технологии блокчейн

*[1]**БАЙКЕНОВ Алимжан Сергеевич,** к.т.н., профессор-преподаватель, a.baikenov@aues.kz,*
*[1]**ЮН Тимур Эдуардович,** бакалавр, t.yun@aues.kz,*
*[1]***ХИЗИРОВА Мухаббат Абдисаттаровна,** к.ф.-м.н., профессор-преподаватель, hizirova73@mail.ru,*
*[1]**КАСЫМОВ Абдуразак Оразгельдиевич,** к.т.н., профессор-исследователь, a.kasimov@aues.kz,*
*[2]**КАРИБАЕВ Бейбит Абдирбекович,** PhD, старший преподаватель, b.karibayev@aues.kz,*
[1]НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», ул. А. Байтурсынова, 126/1, Алматы, Казахстан,
[2]НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Представлены разработка и исследование системы электронного голосова-*

ния на основе технологии блокчейн, направленной на повышение безопасности, прозрачности и надежности избирательного процесса. Актуальность исследования обусловлена необходимостью устранения слабых мест традиционных систем голосования, таких как возможность фальсификации результатов и несанкционированного доступа к данным. Проведен комплексный анализ теоретических основ блокчейн-технологии, выявлены ключевые преимущества децентрализованной архитектуры, неизменяемости информации и использования криптографической защиты. Практическая часть работы включает разработку прототипа системы, реализованного посредством модульного проектирования с использованием современных методов криптографии и алгоритмов консенсуса для обеспечения целостности и устойчивости данных. Результаты экспериментов подтвердили высокую эффективность предложенного решения, демонстрируя его потенциал для применения в условиях массовых выборов. Обсуждены перспективы дальнейшей оптимизации системы и интеграции блокчейн-технологий в существующие инфраструктуры электронного голосования.

Ключевые слова: *блокчейн, электронное голосование, безопасность, прозрачность, криптография, децентрализация.*

REFERENCES

1. Benabdallah A., Audras A., Coudert L., El Madhoun N., Badra M. Analysis of blockchain solutions for E-voting: A systematic literature review [Elektronnyi resurs] // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 70746–70759. – Rezhim dostupa: https://hal.science/hal-03717773/document
2. Nurpeisov E. K., Aunasova A. M. Transformatsiya izbiratel'noi sistemy v Respublike Kazakhstan [Elektronnyi resurs] // Vestnik KazNU. Seriya yuridicheskaya. – 2023. – №103(2). – S. 45–56. – Rezhim dostupa: https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-izbiratelnoy-sistemy-v-respublike-kazahstan
3. Volodenkov S. V., Fedorchenko S. N. Traditsionnye politicheskie instituty v usloviyakh tsifrovizatsii: riski i perspektivy transformatsii [Elektronnyi resurs] // Politologiya. – 2022. – №4. – S. 8–25. – Rezhim dostupa: https://cyberleninka.ru/article/n/traditsionnye-politicheskie-instituty-v-usloviyah-tsifrovizatsii-riski-i-perspektivy-transformatsii
4. Zhumagalieva A. M., Shekerbek A. A., Baibulova M. G., Ongarbaeva A. I., Tokkulieva A. Analiz vnedreniya tekhnologii blokcheyn v sistemu elektronnogo golosovaniya [Elektronnyi resurs] // Izvestiya NAN RK. Seriya fiziko-matematicheskaya. – 2024. – №1. – S. 136–151. – Rezhim dostupa: https://journals.nauka-nanrk.kz/fm/article/view/4863
5. Mukherjee A., Majumdar S., Kolya A. K., Nandi S. A Privacy-Preserving Blockchain-based E-voting System [Elektronnyi resurs]. – 2023. – Rezhim dostupa: https://arxiv.org/abs/2307.08412
6. Onur C., Yurdakul A. ElectAnon: A Blockchain-Based, Anonymous, Robust and Scalable Ranked-Choice Voting Protocol [Elektronnyi resurs]. – 2022. – Rezhim dostupa: https://arxiv.org/abs/2204.00057
7. Hakak S., Khan W. Z., Gilkar G. A., Assiri B., Alazab M., Bhattacharya S., Reddy G. T. Recent Advances in Blockchain Technology: A Survey on Applications and Challenges [Elektronnyi resurs]. – 2020. – Rezhim dostupa: https://arxiv.org/abs/2009.05718
8. Khan S. N., Loukil F., Ghedira-Guegan C., Benkhelifa E., Bani-Hani A. Blockchain smart contracts: Applications, challenges, and future trends [Elektronnyi resurs] // Peer-to-Peer Networking and Applications. – 2021. – DOI: 10.1007/s12083-021-01119-1. – Rezhim dostupa: https://link.springer.com/article/10.1007/s12083-021-01119-1
9. Xiao Y., Zhang N., Lou W., Hou Y. T. A Survey of Distributed Consensus Protocols for Blockchain Networks [Elektronnyi resurs] // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2020. – T. 22, №2. – S. 1432–1465. – Rezhim dostupa: https://doi.org/10.1109/COMST.2020.2969706
10. Paskar' V., Gagarina L. G., Slyusar' V. V. Razrabotka metodiki i programmnogo kompleksa dlya distantsionnogo elektronnogo golosovaniya na osnove platformy blokcheyn Ethereum [Elektronnyi resurs] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Elektronika. – 2021. – Rezhim dostupa: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-metodiki-i-kompleksa-programmnyh-sredstv-dlya-distantsionnogo-elektronnogo-golosovaniya-na-osnove-blokcheyn-platformy

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_459 UDC 004

The Use of Neural Networks for Predicting Student Academic Performance in Higher Education

***SALYKOVA Olga,** *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, solga0603@mail.ru,*
***ABUOV Adilkhan,** *Doctoral Student, adilkhan.abuov@gmail.com,*
***ISKAKOVA Almira,** *Doctoral Student, n.a.almira.24@gmail.com,*
***ARTYKBAEVA Asel,** *Doctoral Student, asel_aidarbekowna@mail.ru,*
NPLC «Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University», 47 A. Baitursynov Street, Kostanay, Kazakhstan,

**corresponding author.*

***Abstract.** This paper investigates the use of neural networks to predict student academic performance in higher education. A hybrid CNN-LSTM model was developed to process temporal data on class attendance and online activity. The dataset included records of 1,200 students with exam scores, attendance, LMS engagement, and demographic data. Preprocessing involved cleaning, one-hot encoding, and Z-score normalization. The model achieved high prediction accuracy (MSE = 0.15, R^2 = 0.82), outperforming linear regression. For identifying at-risk students, the model reached a ROC-AUC of 0.88. The findings are valuable for the development of early warning systems in higher education institutions that enable the timely identification of students at risk.*

***Keywords:** neural networks, student performance prediction, hybrid CNN-LSTM architecture, educational machine learning, learning management system (LMS), anonymized academic data.*

Introduction

In recent years, higher education institutions have increasingly faced the need to promptly and accurately predict students' academic performance. Early identification of students experiencing academic difficulties enables instructors and support services to implement timely interventions, such as supplemental instruction, academic advising, and curriculum adjustments. Traditional statistical methods, such as linear regression or decision trees, often fall short in capturing the complex, high-dimensional relationships between academic outcomes, attendance, and activity within learning management systems [1; 2].

Neural networks, capable of uncovering hidden patterns in large volumes of heterogeneous data, represent a promising tool for tackling the problem of academic performance prediction. This study proposes a hybrid model that combines convolutional and recurrent blocks (CNN-LSTM) based on an anonymized dataset of undergraduate students from a technical university. This architecture enables not only the prediction of final grade point averages but also the identification of "at-risk" students who may require additional academic support. The following sections describe the stages of data preprocessing, model development, and performance evaluation.

Research Objective

The objective of this study is to develop and evaluate a hybrid CNN-LSTM model for accurately predicting the academic performance of students at a technical university and for the early identification of students at academic risk.

Research Tasks

- To collect and describe an anonymized academic dataset covering three semesters;
- To implement and train a hybrid neural network architecture;
- To assess the performance of the proposed model and compare it with traditional methods;
- To analyze the impact of key features on prediction accuracy;
- To develop practical recommendations for implementing the system within academic support services.

Neural networks, capable of detecting hidden patterns in large volumes of heteroge-

neous data, offer a promising approach to the challenge of academic performance prediction. This study proposes a hybrid model that combines convolutional and recurrent blocks (CNN-LSTM) based on an anonymized dataset of undergraduate students from a technical university. This architecture enables not only to predict the final grade point average but also to identify "at-risk" students who may require additional academic attention.

Prior work has progressed from interpretable but capacity-limited classical models to deep and explainable approaches. Early studies showed that linear regression and decision trees provide transparent baselines yet fail to capture complex nonlinear relations among behavioral and academic features [1]. Multilayer perceptrons modestly improved classification of "successful/at-risk" students (≈75% accuracy) but could not model temporal dependencies in activity data [3,4]. Deep hybrid architectures addressed this gap: CNN–LSTM models more effectively captured attendance and LMS dynamics, reaching ROC–AUC above 0.85 [5]. Beyond sequence modeling, graph neural networks that encode "student-student" and "student-course" relations further improved dropout-risk predictions, while explainable techniques such as LIME and SHAP clarified feature and edge contributions to increase practitioner trust [6,7]. In parallel, the gamification literature and mobile implementations indicate that points and badges can boost engagement–by about 30% in one study–and strengthen predictive signals available to performance models [8-10]. Recent surveys consolidate these advances, covering ensemble and deep methods and underscoring the role of transparency, with demonstrations of LIME/SHAP in higher-education contexts [11-13].

Taken together, contemporary research indicates that transitioning from classical methods to hybrid neural architectures and graph networks, along with incorporating gamification and mobile activity features, significantly improves the accuracy of academic performance prediction. At the same time, more complex models require extensive, well-prepared datasets and careful hyperparameter tuning.

Methodology

This study utilized anonymized data from 1,200 undergraduate students at a technical university, collected over three semesters. The dataset included four groups of features: academic performance (scores from quizzes and final exams), attendance (proportion of absences per course), online activity (number of lectures viewed, forum participation, and quiz submissions in the LMS), and socio-demographic parameters (student gender and field of study).

Figure 1 illustrates the distribution of students' average grades: most values are concentrated in the range of 2.5 to 3.5, with a slight skew towards higher grades. Small peaks around 2.8 and 3.2 indicate the most frequently occurring scores. The tails of the histogram reflect a few students with very low (below 2.0) and very high (above 4.0) performance.

Standard preprocessing was performed before training. Records with less than 60% feature completeness were removed to avoid bias from missing data. Categorical variables — gender and field of study — were one-hot encoded for proper network interpretation. Quantitative features (grades, attendance, activity) were standardized using semester-level Z-score normalization to align distributions

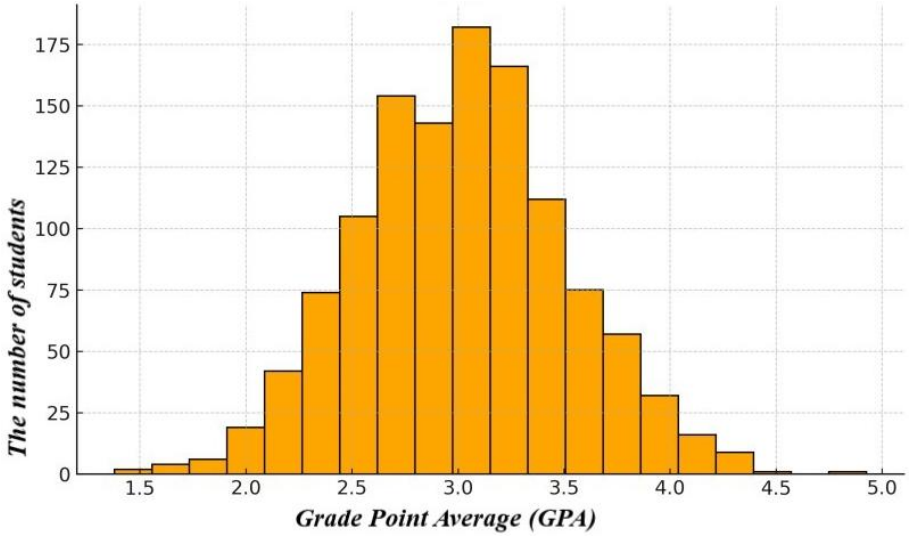


Figure 1 — Distribution of students' average grades

and mitigate outliers. Finally, the dataset was randomly split into training (70%), validation (15%), and test (15%) sets.

A hybrid architecture combining convolutional and recurrent components was proposed to predict the final average grade and identify students in the "at-risk" group. First, the student's "activity map" — a matrix of time × activity types — is processed by a convolutional block that extracts local behavior patterns, such as sharp changes in engagement during different periods of the semester. Then, the sequence of extracted features is passed to an LSTM block, which captures the temporal dynamics of the indicators throughout the semester. Finally, a fully connected layer integrates the extracted features and outputs the predicted average grade.

All model hyperparameters — including the number of convolutional filters, the LSTM hidden state size, and the learning rate — were tuned using grid search on the validation set. During optimization, the aim was to minimize the mean squared error (MSE) and maximize the coefficient of determination (R^2), employing early stopping if no improvement was observed for ten consecutive epochs.

Experiments and Results

To evaluate the performance of the proposed hybrid model, the following three metrics were employed: mean squared error (MSE), coefficient of determination (R^2), and ROC-AUC for the binary classification task of identifying whether a student belongs to the "at-risk" group. MSE measures how close the predicted average grades are to the actual values, R^2 reflects the proportion of explained variance, and ROC-AUC assesses the model's ability to distinguish between "at-risk" and "not at-risk" students across various thresholds.

When compared to classical algorithms, the hybrid CNN-LSTM model demonstrated significant superiority. Specifically, the MSE was 0.15 compared to 0.28 for linear regression, while R^2 increased to 0.82 versus 0.65 for the same regression model. For the risk classification task, the hybrid architecture achieved a ROC-AUC of 0.88, whereas the decision tree reached only 0.77 [5].

The ROC curve shows that the hybrid model (red line) achieves the highest area under the curve (0.88), while the decision tree (green line) and linear regression (blue line for binary prediction) reach only 0.77 and 0.69, respectively.

To evaluate the contribution of architectural components, an ablation study was conducted. Below are the results of models using individual blocks (CNN or LSTM) as well as their combination:

As shown in the table, each component of the model contributes to its overall effectiveness; however, the best performance is achieved through their combination. A paired

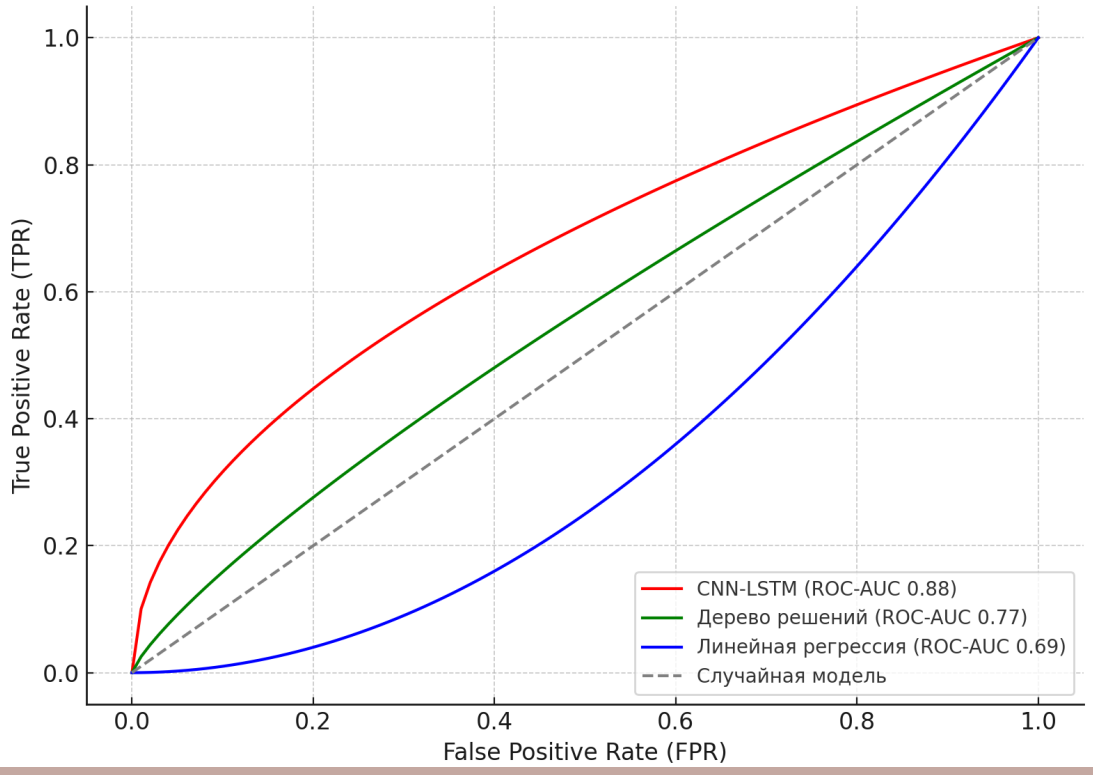


Figure 2 – ROC curve for three models: hybrid CNN-LSTM, linear regression, and decision tree

t-test revealed statistically significant differences between the hybrid model and the baseline algorithms ($p < 0.05$), confirming the validity of the architectural choice.

Additionally, a feature importance analysis was conducted to identify key determinants of academic performance. The greatest contributions to the final prediction were from: the proportion of completed online tests in the Moodle system; attendance dynamics during the last four weeks of the semester—particularly a sharp decline, interpreted as an early indicator of risk for academic lagging.

The scatter plot based on the CNN-LSTM model's results confirms its high accuracy. Points representing predicted and actual average grades cluster closely along the diagonal line $y = x$, indicating a low mean squared error and strong agreement between the model's predictions and real data.

Thus, the conducted experiments confirm the high effectiveness of the proposed architecture in both regression and classification tasks. The model demonstrated not only superior quantitative performance but also good interpretability at the feature level, which is crucial for practical implementation in the academic environment.

The practical implementation of the model is feasible within university academic monitoring systems, taking data anonymity into account. Future work may involve the integration of graph neural network approaches, which would enable modeling not only individual student behavior but also mutual influences within the educational environment through the analysis of social and academic relationships.

Conclusion. This study demonstrated the effectiveness of the hybrid CNN-LSTM neural network architecture in predicting students' academic performance, outperforming traditional methods across key metrics. The model enables early identification of at-risk students for timely academic intervention. Future work includes expanding the feature space by incorporating motivational, behavioral, and socio-economic factors, as well as integrating the model into the Moodle system for automated monitoring. The source code and anonymized dataset will be made publicly available to ensure reproducibility and facilitate model adaptation.

Table 1 – Experiments and results: comparison of model predictions with actual data.

Model	MSE	R^2	ROC-AUC
CNN block only	0,22	0,70	0,81
LSTM block only	0,19	0,75	0,84
CNN-LSTM (hybrid)	0,15	0,82	0,88

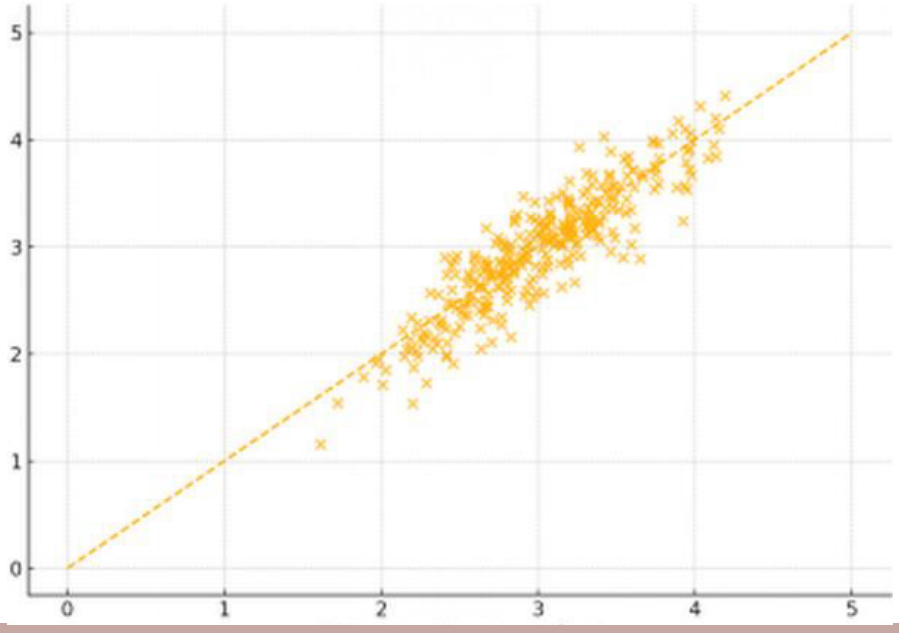


Figure 3 – Scatter plot of predicted vs. actual average grades

REFERENCES

1. Иванов С. П., Смирнова Е. В. (2018). Прогноз успеваемости студентов методами регрессии // Журнал «Образование и ИИ».
2. Кузнецов А. В., Иванова М. Н. (2020). Прогнозирование академической успеваемости с использованием градиентного бустинга // Журнал «Информационные технологии в образовании».
3. Петрова Л. А. (2019). Применение многослойных перцептронов в оценке качества обучения // Вестник НИУ.
4. Сидорова И. В. (2020). Нейронные сети для прогнозирования успешности студентов // Журнал «Прикладная информатика в образовании».
5. Lee J., & Kim S. (2022). Hybrid CNN-LSTM models for student performance prediction. Educational Data Mining.
6. Wang Z., Liu Y., & Zhang X. (2021). Graph neural networks for dropout risk prediction. Journal of Educational Data Mining.
7. Müller T. (2022). Explainable AI methods for student performance prediction. International Journal of Educational Technology in Higher Education.
8. Deterding S., Dixon D., Khaled R., & Nacke L. (2011). Defining gamification: Its role in motivation and learning. Academic MindTrek Conference Proceedings.
9. Hamari J., Koivisto J., & Sarsa H. (2014). Does gamification work? A review of empirical studies. Hawaii International Conference on System Sciences Proceedings.
10. Xu Q., Li H., & Zhao Z. (2021). Gamification in mobile educational applications: Effects on engagement and prediction. IEEE Transactions on Learning Technologies.
11. Khosravi H., et al. (2023). A review of educational data mining methods for academic performance prediction. Journal of Educational Data Mining.
12. Al-Shabandar R., Hussain A., & Deman A. (2022). Explainable models for student outcome prediction. IEEE Access.
13. Rafi A., et al. (2023). Interpretable academic performance prediction with LIME and SHAP. Computers & Education.

Жоғары білім беруде студенттердің үлгерімін болжау үшін нейрожелілерді пайдалану

САЛЫКОВА Ольга Сергеевна, *т.ғ.к., доцент, solga0603@mail.ru,*
АБУОВ Адильхан Маратович, *докторант, adilkhan.abuov@gmail.com,*
ИСКАКОВА Альмира Мухтаровна, *докторант, n.a.almira.24@gmail.com,*
АРТЫКБАЕВА Асель Айдарбековна, *докторант, asel_aidarbekowna@mail.ru,*
«Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай Өңірлік университеті» КеАҚ, А. Байтұрсынов көшесі, 47, Қостанай, Қазақстан,

**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Жоғары білім беруде студенттердің үлгерімін болжау үшін нейрондық желілерді қолдану зерттеледі. Сабаққа қатысу мен онлайн-белсенділіктің уақыттық қатарларын өңдеу үшін CNN және LSTM негізіндегі гибридті модель ұсынылды. Зерттеуге 1200 студенттің емтихан бағалары, қатысуы, қашықтан оқыту жүйесіндегі белсенділігі және әлеуметтік деректері қолданылды. Деректерді алдын ала өңдеу тазарту, one-hot-кодтау және Z-бағалау әдісін қамтыды. Модель жоғары дәлдік көрсетті (MSE = 0,15, R^2 = 0,82), бұл сызықтық регрессиядан асып түсті. Тәуекел тобындағы студенттерді анықтауда ROC-AUC 0,88 болды. Нәтижелер жоғары оқу орындарында тәуекел тобына жататын студенттерді дер кезінде анықтауға мүмкіндік беретін ерте ескерту жүйелерін әзірлеуге пайдалы.*

Кілт сөздер: *нейрондық желілер, студенттердің үлгерімін болжау, гибридті CNN-LSTM архитектурасы, білім берудегі машиналық оқыту, қашықтықтан оқыту платформасы (LMS), анонимдендірілген академиялық деректер.*

Использование нейронных сетей для прогнозирования успеваемости студентов в высшем образовании

***САЛЫКОВА Ольга Сергеевна,** к.т.н., доцент, solga0603@mail.ru,
АБУОВ Адильхан Маратович, докторант, adilkhan.abuov@gmail.com,
ИСКАКОВА Альмира Мухтаровна, докторант, n.a.almira.24@gmail.com,
АРТЫКБАЕВА Асель Айдарбековна, докторант, asel_aidarbekowna@mail.ru,
НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы»,
ул. А. Байтурсынова, 47, Костанай, Казахстан,
*автор-корреспондент.

***Аннотация.** Рассматривается применение нейронных сетей для прогнозирования успеваемости студентов. Предложена гибридная модель CNN-LSTM для обработки временных рядов посещаемости и активности в системе дистанционного обучения. Использованы данные 1200 студентов: оценки, посещаемость, активность и демография. Предобработка включала очистку данных, one-hot-кодирование и нормализацию методом Z-оценки. Модель показала высокую точность (MSE = 0,15, R^2 = 0,82), превосходя линейную регрессию. В задаче классификации студентов по риску отсева ROC-AUC составил 0,88. Результаты полезны для создания систем раннего предупреждения в вузах, позволяющих своевременно выявлять студентов группы риска.*

***Ключевые слова:** нейронные сети, прогнозирование успеваемости студентов, гибридная архитектура CNN-LSTM, машинное обучение в образовании, дистанционная платформа (LMS), анонимизированные академические данные.*

REFERENCES

1. Ivanov, S. P., & Smirnova, E. V. (2018). Application of linear regression and decision tree algorithms for predicting students' average grades. Education and AI Journal.
2. Kuznetsov, A. V., & Ivanova, M. N. (2020). Academic performance forecasting using gradient boosting. Journal of Information Technologies in Education.
3. Petrova, L. A. (2019). Multilayer perceptrons in academic performance prediction. Bulletin of the National Research University.
4. Sidorova, I. V. (2020). Neural networks for student success prediction. Journal of Applied Informatics in Education.
5. Lee, J., & Kim, S. (2022). Hybrid CNN-LSTM models for student performance prediction. Educational Data Mining.
6. Wang, Z., Liu, Y., & Zhang, X. (2021). Graph neural networks for dropout risk prediction. Journal of Educational Data Mining.
7. Müller, T. (2022). Explainable AI methods for student performance prediction. International Journal of Educational Technology in Higher Education.
8. Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). Defining gamification: Its role in motivation and learning. Academic MindTrek Conference Proceedings.
9. Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H. (2014). Does gamification work? A review of empirical studies. Hawaii International Conference on System Sciences Proceedings.
10. Xu, Q., Li, H., & Zhao, Z. (2021). Gamification in mobile educational applications: Effects on engagement and prediction. IEEE Transactions on Learning Technologies.
11. Khosravi, H., et al. (2023). A review of educational data mining methods for academic performance prediction. Journal of Educational Data Mining.
12. Al-Shabandar, R., Hussain, A., & Deman, A. (2022). Explainable models for student outcome prediction. IEEE Access.
13. Rafi, A., et al. (2023). Interpretable academic performance prediction with LIME and SHAP. Computers & Education.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_465 UDC 004.046

Emotion Recognition Technologies Using Webcams: Approaches, Models and Their Applications

[1]*KIM Gulnar, PhD, Associate Professor, gakim@ku.edu.kz,
[1]SEMENYUK Vladislav, Senior Lecturer, vvsemenyuk@ku.edu.kz,
[2]BIGOZHIN Rysdaulet, Doctoral Student, rector@enu.kz,
[1]ALYOSHIN Dmitriy, Scientific Researcher, dvaleshin@ku.edu.kz,
[1]OSPANOVA Gulmira, PhD, Head of Recruiting and Admissions Office, gzhospanova@ku.edu.kz,
[1]NPLC «Manash Kozybayev North Kazakhstan University», 86 Pushkin Street, Petropavl, Kazakhstan,
[2]Alikhan Bokeikhan University, 11 Mangilik El Street, Semey, Kazakhstan,
*corresponding author.

Abstract. *Recognizing human emotions is one of the most urgent tasks in the field of artificial intelligence and computer vision. Modern technologies make it possible to analyze human facial expressions and emotional states in real time using various methods and tools, such as video surveillance, webcams, and specialized machine learning algorithms. This field has wide applications in various fields including medical technologies, security systems, and in the development of personalized user interfaces. The aim of this paper is to systematize existing approaches and technologies used for emotion recognition using webcams. Different methods of video data processing, including the use of facial micro-expressions, as well as features of machine learning models used for emotion classification are presented. Current algorithms and systems aimed at improving the accuracy of real-time emotion recognition will also be analyzed. The review of these methods and technologies not only allows us to assess the current level of development of the field, but also to identify promising areas for further research and improvement of existing systems.*

Keywords: *human emotions, emotion recognition, pattern recognition, information processing.*

Introduction

Over the past few decades, researchers in the field of information technology have been intensively engaged in developing intelligent computing systems capable of accurately recognizing and interpreting facial expressions. Recent progress in this area is not limited to enhancing existing algorithms but also includes the emergence of innovative approaches and tools. Currently, several companies offer proprietary software solutions in this domain. Analyzing the current state of research in this field reveals a rapid evolution of emotion recognition as a key area within the broader disciplines of pattern recognition and visual information analysis. Modern recognition technologies have become increasingly accessible, and a noticeable shift has occurred — transitioning from theoretical interest to widespread practical application. This trend continues to attract specialists focused on identifying and processing visual patterns and emotional cues in real-world settings. Emotion recognition is used in [1]:

- Marketing and banking - collect data on consumers' emotions for a service/content;
- Robotics - teaching robots to better interact with humans [2];
- Education and HR - monitor the performance and attentiveness of students and employees [2];
- Gaming industry – change the intensity of game content depending on the emotional state of the player [2].

Recognition of emotions by facial expressions of one person or a group of persons is a working method of automated determination of respondents' emotional state. The solution can be applied both in case of necessity to evaluate and classify the emotional reaction of the person under study to the phenomenon under study (an advertising video or a film trailer) and in customer service to evaluate the level of customer satisfaction [2].

Research methodology

Most existing human emotion recognition systems analyze human facial expressions and intonation of words. For example, by the raised corners of the mouth, the system can conclude that the person is happy, and by the frowning eyebrows discontent. Fast speech and high voice can speak about the fear of a person. There are also more sophisticated intelligent systems that try to analyze a person's environment and gestures, such a system will not call a person who is 'at gunpoint' happy [2].

First, the review of the main approaches aimed at improving the accuracy of emotion recognition using video analysis, 3D modeling, and the application of advanced neural network technologies is presented [2].

In "Video-based Facial Micro-Expression Analysis: A Survey of Datasets, Features and Algorithms" [3], the authors review 9 existing datasets and present a new MMEW: MMEW contains both micro- and macro-expressions from the same participants, is of high quality (1920×1080, 90 fps), includes more emotion classes and AU annotations (by FACS). Micro-expressions are involuntary, fast (0.065-0.5 s) and weak facial reactions that reveal true emotions. Macro-expressions are arbitrary, prominent, and prolonged (0.5-4 s) [3].

As a result of transfer learning, it can be concluded that using macro-expressions to train micro-expression models significantly improves accuracy, based on the MMEW dataset it is possible to compare training on expressions of the same person, which gives up to 87.2% accuracy [3].

For modification, it is necessary to extend and standardize the dataset and integrate all the researched models for further integration [3].

In the research "EMOCA: Emotion Driven Monocular Face Capture and Animation" [4], the authors present the EMOCA model allows to reconstruct a 3D face with expressed emotion from a single RGB photo. The main innovation is a novel loss function based on the perceptual emotional similarity between the input image and the 3D reconstruction. Participants rated the emotions displayed on rendered 3D faces [4]. Matches to real-life emotions [4]:

– EMOCA: 68%
– Deep3DFace: 37%
– DECA: 33% [4].

Only EMOCA preserves emotions recognizable to humans.

EMOCA is the first method that reconstructs an expressive 3D face with realistic emotion. Although, training on standard sets (without emotion data) will reduce the recognizability of emotions [4].

In "Video-based Frame-level Facial Analysis of Affective Behavior on Mobile Devices using EfficientNets" Andrey V. Savchenko [5] studies the problem of real-time facial emotion analysis, namely, facial expression recognition, valence and arousal prediction, and action point detection. The author presented a new algorithm for frame-level emotion recognition by extracting facial features using a unified EfficientNet model. The model was pre-trained on VGGFace2 and pre-trained on AffectNet. Embeddings and emotion probabilities were used during training, and MLP (a multilayer perceptron) was used for classification. During the study of this work we can conclude that the presented model is quite accurate, applicable for Affective Behavior Analysis in-the-wild, also the author does not exclude the possibility of studying the combination of models in a large ensemble with different representations of the input video [5].

The study "Recognition of human emotions on images" by R. I. Akhmetshin, A. P. Kirpichnikov, M. P. Shleimovich [6] deals with the basic concepts of the theory of emotion recognition, the field of application of methods for automatic recognition of emotions, the algorithm of automatic recognition of emotions on the image of a human face based on the Viola-Jones method. The main principles are the use of the image in the integral representation, which allows to calculate quickly the necessary objects and Haar features, which are used to search for the desired object. The given approach to automatic emotion recognition can be effectively applied in various intelligent human-machine systems [6].

O.P. Timofeeva, S.A. Neimuschev, L.I. Neimuscheva, I.A. Tikhonov [7] in the article "Recognizing emotions from facial images based on deep neural networks" investigate the problem of recognizing emotions from face images from video stream using deep convolutional neural networks (CNNs). The work is based on training and comparing two CNN architectures using the FER2013 dataset (35,887 48×48 pixel images, 7 emotions: happiness, sadness, anger, fear, surprise, disgust, neutral expression). It can be concluded that Deep CNNs are successfully applied to emotion recognition tasks, adding regularization and deep architectures improves the generalization ability of the model. This kind of solutions are applicable in HCI, security, video surveillance and multimedia interfaces [7].

This review of the presented research demonstrates current advances and directions of development in the field of automatic facial emotion recognition, covering both classical approaches and state-of-the-art methods based on deep neural networks and 3D reconstruction [7]. In turn, high-quality, rich-

ly annotated datasets are the foundation for progress in the emotion task. This analysis has shown that state-of-the-art architectures show high accuracy and are applicable to mobile and real-time systems [7].

Despite progress in this area, emotion recognition tasks remain complex and multifaceted. One of the main challenges is the variability of facial expressions and their transience, which requires models to be highly accurate and adaptable to a variety of conditions [7].

Since there are no analogues of human emotion recognition application using webcam, the following will be considered the most popular applications of human emotion recognition that are existed at the present time, these are:

– FaceReader;
– FaceVACS-DBScanwithExaminer;
– FaceVACS-PortraitAcquisition [7].

A number of commercial and academic systems have been developed to automate the analysis of human emotional states based on facial expressions and body movements. Among the most well-known products is FaceReader, a software solution capable of decoding a range of fundamental emotions. This application also integrates features to estimate demographic attributes such as age, gender, and ethnicity, offering a ready-to-use system that requires no user-specific calibration or training [8].

Another widely deployed system is FaceVACS-DBScan, developed by Cognitec. Unlike general-purpose facial recognition tools, this system is tailored for high-accuracy identification tasks in security and forensic scenarios. It supports automated image enhancement, gallery comparison, and detailed logging of decision-making processes, which facilitates both real-time analysis and post-event investigations [10].

Beyond commercial tools, recent academic contributions have introduced more sophisticated and flexible models. The EMOCA framework presents a novel approach to reconstructing expressive 3D facial models from a single 2D image. By leveraging a perceptual similarity-based loss function, it maintains consistency between the reconstructed and original emotional expression, making it more interpretable to human observers. This method shows significant improvements over traditional 3D face capture techniques in terms of emotional fidelity [4].

Further advancements are seen in the research of Savchenko, who proposed a lightweight and efficient neural pipeline for real-time emotion inference from facial video streams. His work employs a pre-trained EfficientNet backbone, fine-tuned on emotion-specific datasets like AffectNet. The model performs multi-task learning, predicting emotion categories, arousal levels, and action units simultaneously. Importantly, Savchenko demonstrated the benefit of user-specific fine-tuning, significantly boosting prediction accuracy in personalized scenarios [5, 11].

Expanding the scope beyond facial data, another strand of research focuses on full-body motion analysis. A study by Uzdyaev et al. explored the recognition of emotional states using body dynamics in video sequences. Their experiments revealed that deep learning models based on spatio-temporal architectures such as R3D and I3D are especially effective, achieving up to 91% accuracy on the FABO dataset. These models outperform traditional 2D CNNs and do not require extensive preprocessing of the video stream, thereby enhancing applicability in real-time systems [12].

While numerous solutions claim high precision in reading facial emotions, current systems are still limited in their capacity to capture the full complexity of human affect. Most technologies rely solely on external cues — such as facial muscle movement or posture — without considering the deeper emotional context or the user's willingness to express it. This creates a critical gap between visible expressions and genuine emotional states. Future developments in affective computing must therefore address not only surface-level indicators, but also incorporate context-aware and user-centric design, ensuring that individuals feel safe, willing, and able to express emotions authentically during interaction.

Scientific results

1. Various approaches are considered and systematised, including the use of deep neural networks, and the most effective methods for real applications are highlighted.

A comparative analysis of modern methods of emotion recognition, including classical algorithms (Viola-Jones), deep learning methods (CNN, EfficientNet), as well as 3D-reconstruction models, is carried out. It is found that the most promising solutions are those based on deep neural network architectures and adaptive learning.

Results from transfer learning show that using macro-expressions to train micro-expression models can significantly improve the accuracy of emotion recognition, which is a meaningful contribution to algorithm improvement.

Challenges such as the variability and transience of facial expressions indicate the need for further research on adaptive and highly accurate emotion recognition models that can accommodate wider variations in facial expressions, as well as improve the interpretation of

human emotional states.

2. The dependence of emotion recognition accuracy on the approach used and the type of input data is shown.

It is found that the use of macro-expressions for training micro-expression recognition models, as well as 3D reconstruction of emotion-linked faces (as in EMOCA), can significantly improve classification accuracy compared to traditional 2D approaches.

3. The applicability of real-time emotion recognition technologies on mobile and low-resource devices is confirmed.

The results of research using EfficientNet and other lightweight models confirm the possibility of integrating emotion recognition systems into mobile applications and user interfaces without losing the quality of analysis.

4. The effectiveness of a personalised approach to training emotion models is substantiated.

The comparative analysis has shown that the adaptation of models to the individual characteristics of the user (for example, on the basis of short video fragments) provides an increase in the accuracy of emotion recognition by 20-50%, especially in the conditions of non-standard facial expressions and external factors.

5. The key problems and limitations of existing emotion recognition systems are outlined.

It is concluded that the external expression of emotions does not always reflect the internal state of the user, which requires future systems not only to capture facial expressions, but also to take into account the context and motivation of the user to express them.

Conclusion

The relevance of this research stems from the growing availability of emotion recognition technologies and the need to bridge the gap between surface-level facial cues and a person's actual emotional state. While modern systems can detect visible expressions with high precision, they often fail to determine whether those expressions reflect genuine inner feelings or are merely socially conditioned reactions. Achieving meaningful emotion recognition requires not only advanced facial analysis, but also consideration of speech patterns, intonation, and semantic context—particularly during digital communication and writing. Integrating these modalities enables a more comprehensive understanding of user emotions and improves system accuracy.

Moreover, this study underscores the importance of expanding training datasets to enhance the adaptability of recognition systems in diverse real-world settings. The outcomes of this work offer practical implications for the development of intelligent environments, including smart home interfaces and emotionally responsive robotics, where accurate emotion detection plays a key role in improving human-computer interaction.

REFERENCES

1. FaceReader [Electronic resource]. – Online: https://www.noldus.com/facereader (Accessed 21 January, 2025);
2. Psihologicheskaya pomoshch' – Vikipediya [Electronic resource]. – Online: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%81%D0%B8%D1%85%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D1%89%D1%8C (Accessed 21 January, 2025);
3. Xianye Ben, Yi Ren, Junping Zhang, Su-Jing Wang, Kidiyo Kpalma, et al. Video-based Facial MicroExpression Analysis: A Survey of Datasets, Features and Algorithms. IEEE Transactions on Software Engineering, 2021, pp.1-1.
4. Radek Danecek, Michael J. Black, Timo Bolkart. EMOCA: Emotion Driven Monocular Face Capture and Animation. Max Planck Institute for Intelligent Systems, Tubingen, Germany, 2022, pp.20311-20322.
5. Andrey V. Savchenko. Frame-level Prediction of Facial Expressions, Valence, Arousal and Action Units for Mobile Devices. HSE University Laboratory of Algorithms and Technologies for Network Analysis, Nizhny Novgorod, Russia, 2022, 8 p.
6. Akhmetshin P., Kirpichnikov A., Shleimovich M. Recognition of human emotions on images. Bulletin of the University of Technology, 2015, T.18, V. 11.
7. Timofeeva O., Neimuschev S., Neimuscheva L., Tikhonov I. Recognizing emotions from facial images based on deep neural networks. Proceedings of R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University No. 1 (128), 2020, pp. 16-24.

8. Facts about FaceReader and automated facial expression analysis [Electronic resource]. – Online: URL: https://www.noldus.com/blog/facts-about-facereader (Accessed 21 January, 2025);
9. Matthias Seeger Pattern Classification and Machine Learning // Probabilistic Machine Learning Laboratory Ecole Polytechnique F´ed´erale de Lausanne INR 112, Station 14, CH-1015 Lausanne. – 2019. pp. 149-151;
10. FaceVACS-DBScan ID [Electronic resource]. – Online: URL: https://www.cognitec.com/facevacs-dbscan-id.html (Accessed 21 January, 2025).
11. Churaev E., Savchenko A., "Recognition of facial expressions based on user video data classifier adaptation", Computer Optics, 47:5 (2023), pp. 806-815;
12. Uzdyaev M., Dudarenko D., Mironov V. "Method of human emotion recognition by body motor activity in video stream on the basis of neural networks", Modeling, optimization and information technology, 9 (1), 2021. pp. 806-815.

Веб-камералар арқылы эмоцияны тану технологиялары: тәсілдер, модельдер және оларды қолдану

[1]*КИМ Гульнар Амангельдыевна, *PhD, қауымдастырылған профессор, gakim@ku.edu.kz,*
[1]СЕМЕНЮК Владислав Владимирович, *аға оқытушы, vvsemenyuk@ku.edu.kz,*
[2]БИГОЖИН Рысдаулет Мухаметкалиулы, *докторант, rector@enu.kz,*
[1]АЛЁШИН Дмитрий Васильевич, *ғылыми қызметкер, dvaleshin@ku.edu.kz,*
[1]ОСПАНОВА Гульмира Жабаевна, *PhD, рекрутинг және қабылдау офисінің басшысы, gzhospanova@ku.edu.kz,*
[1]«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Пушкин көшесі, 86, Петропавл, Қазақстан,
[2]Alikhan Bokeikhan University, Мәңгілік Ел көшесі, 11, Семей, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Адамның эмоциясын тану – жасанды интеллект пен компьютерлік көру саласындағы ең өзекті міндеттердің бірі. Заманауи технологиялар бейнебақылау, веб-камералар және арнайы машиналық оқыту алгоритмдері сияқты әртүрлі әдістер мен құралдарды қолдана отырып, нақты уақыт режимінде адамның бет әлпеті мен эмоционалды жағдайын талдауға мүмкіндік береді. Бұл сала әртүрлі салаларда, соның ішінде медициналық технологияларда, қауіпсіздік жүйелерінде және жеке пайдаланушы интерфейстерін әзірлеуде кеңінен қолданылады. Бұл жұмыстың мақсаты – веб-камералар арқылы эмоцияларды тану үшін қолданылатын қолданыстағы тәсілдер мен технологияларды жүйелеу. Бейне деректерін өңдеудің әртүрлі әдістері, соның ішінде микро өрнектерді қолдану, сондай-ақ эмоцияларды жіктеу үшін қолданылатын машиналық оқыту модельдерінің ерекшеліктері ұсынылған. Нақты уақыт режимінде эмоцияны тану дәлдігін арттыруға бағытталған заманауи алгоритмдер мен жүйелер де талданады. Осы әдістер мен технологияларға шолу осы саланың ағымдағы даму деңгейін бағалауға ғана емес, сонымен қатар қолданыстағы жүйелерді одан әрі зерттеу мен жетілдірудің перспективалық бағыттарын анықтауға мүмкіндік береді.*

Кілт сөздер: *адамның эмоциясы, эмоцияны тану, үлгіні тану, ақпаратты өңдеу.*

Технологии распознавания эмоций с помощью веб-камер: подходы, модели и их применения

[1]*КИМ Гульнар Амангельдыевна, *PhD, ассоциированный профессор, gakim@ku.edu.kz,*
[1]СЕМЕНЮК Владислав Владимирович, *старший преподаватель, vvsemenyuk@ku.edu.kz,*
[2]БИГОЖИН Рысдаулет Мухаметкалиулы, *докторант, rector@enu.kz,*
[1]АЛЁШИН Дмитрий Васильевич, *научный сотрудник, dvaleshin@ku.edu.kz,*
[1]ОСПАНОВА Гульмира Жабаевна, *PhD, руководитель офиса рекрутинга и приема, gzhospanova@ku.edu.kz,*
[1]НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», ул. Пушкина, 86, Петропавловск, Казахстан,

[2]Alikhan Bokeikhan University, ул. Мангилик Ел, 11, Семей, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Распознавание человеческих эмоций – одна из самых актуальных задач в области искусственного интеллекта и компьютерного зрения. Современные технологии позволяют анализировать мимику и эмоциональные состояния человека в режиме реального времени с помощью различных методов и инструментов, таких как видеонаблюдение, веб-камеры и специализированные алгоритмы машинного обучения. Эта область находит широкое применение в различных сферах, включая медицинские технологии, системы безопасности и разработку персонализированных пользовательских интерфейсов. Целью данной работы является систематизация существующих подходов и технологий, используемых для распознавания эмоций с помощью веб-камер. Представлены различные методы обработки видеоданных, в том числе с использованием микровыражений лица, а также особенности моделей машинного обучения, используемых для классификации эмоций. Также будут проанализированы современные алгоритмы и системы, направленные на повышение точности распознавания эмоций в реальном времени. Обзор данных методов и технологий позволяет не только оценить текущий уровень развития данной области, но и выявить перспективные направления для дальнейших исследований и совершенствования существующих систем.*

Ключевые слова: *человеческие эмоции, распознавание эмоций, распознавание образов, обработка информации.*

REFERENCES

1. FaceReader [Electronic resource]. – Online: https://www.noldus.com/facereader (Accessed 21 January, 2025);
2. Psihologicheskaya pomoshch' – Vikipediya [Electronic resource]. – Online: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%81%D0%B8%D1%85%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D1%89%D1%8C (Accessed 21 January, 2025);
3. Xianye Ben, Yi Ren, Junping Zhang, Su-Jing Wang, Kidiyo Kpalma, et al. Video-based Facial MicroExpression Analysis: A Survey of Datasets, Features and Algorithms. IEEE Transactions on Software Engineering, 2021, pp.1-1.
4. Radek Danecek, Michael J. Black, Timo Bolkart. EMOCA: Emotion Driven Monocular Face Capture and Animation. Max Planck Institute for Intelligent Systems, Tubingen, Germany, 2022, pp.20311-20322.
5. Andrey V. Savchenko. Frame-level Prediction of Facial Expressions, Valence, Arousal and Action Units for Mobile Devices. HSE University Laboratory of Algorithms and Technologies for Network Analysis, Nizhny Novgorod, Russia, 2022, 8 p.
6. Akhmetshin P., Kirpichnikov A., Shleimovich M. Recognition of human emotions on images. Bulletin of the University of Technology, 2015, T.18, V. 11.
7. Timofeeva O., Neimuschev S., Neimuscheva L., Tikhonov I. Recognizing emotions from facial images based on deep neural networks. Proceedings of R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University No. 1 (128), 2020, pp. 16-24.
8. Facts about FaceReader and automated facial expression analysis [Electronic resource]. – Online: URL: https://www.noldus.com/blog/facts-about-facereader (Accessed 21 January, 2025);
9. Matthias Seeger Pattern Classification and Machine Learning // Probabilistic Machine Learning Laboratory Ecole Polytechnique F´ed´erale de Lausanne INR 112, Station 14, CH-1015 Lausanne. – 2019. pp. 149-151;
10. FaceVACS-DBScan ID [Electronic resource]. – Online: URL: https://www.cognitec.com/facevacs-dbscan-id.html (Accessed 21 January, 2025).
11. Churaev E., Savchenko A., “Recognition of facial expressions based on user video data classifier adaptation”, Computer Optics, 47:5 (2023), pp. 806-815;
12. Uzdyaev M., Dudarenko D., Mironov V. “Method of human emotion recognition by body motor activity in video stream on the basis of neural networks”, Modeling, optimization and information technology, 9 (1), 2021. pp. 806-815.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_471 UDC 004.891

International Experience and Digital Platforms for the Examination of Scientific and Technical Projects: a Critical Review and Recommendations for Kazakhstan

[1]**MUTANOV Galymkair,** *Dr. of Tech. Sc., Vice President of the National Academy of Science of the Republic of Kazakhstan, galimkairmutanov@gmail.com,*
[2]**AMANZHOLOVA Saule,** *Cand. of Tech. Sc., Director of the Department of Intelligent Systems and Cybersecurity, S.Amanzholova@astanait.edu.kz,*
[3]**SHAYEA Ibraheem,** *PhD, Professor, ibr.shayea@gmail.com,*
[2]**ALDASHEVA Laura,** *Cand. of Tech. Sc., Associate Director of the Department of Intelligent Systems and Cybersecurity laura.aldasheva@astanait.edu.kz,*
[2]***AMIROVA Akzhibek,** *PhD, Assistant Professor akzhibek.amirova@astanait.edu.kz,*
[1]Institute of Information and Computational Technologies, 28 Shevchenko Street, Almaty, Kazakhstan,
[2]Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, EXPO Business Center, Block C1, Astana, Kazakhstan,
[3]Istanbul Technical University, Maslak, Istanbul, Turkey,
**corresponding author.*

Abstract. *The article presents a comprehensive review of international systems for the evaluation of scientific and technical projects with a detailed analysis of the experience of four key regions – the United States, the European Union, Japan and China. Institutional models for organizing the evaluation, principles for selecting and evaluating projects, and mechanisms for preventing conflicts of interest are considered. Particular attention is paid to the criteria used, including scientific novelty, potential socio-economic significance, innovativeness and compliance with strategic priorities. The aim of the study is the analysis of the processes of digitalization of the evaluation, including the introduction of automated systems for selecting experts, the use of publication activity databases and the integration of tools for assessing scientific contribution. A comparison of the functionality of modern international digital platforms, such as OpenAIRE, Elsevier Expert Lookup, ResearchGate and Publons, is carried out, identifying their advantages and limitations. Based on comparative analysis, the strengths of national systems are highlighted: focus on public significance, anonymization and two-way feedback, interim monitoring of projects, strategic focus on priority areas and the use of artificial intelligence. Based on the results of the study, recommendations are proposed for Kazakhstan, including the creation of a national integrated digital platform for expertise using artificial intelligence and blockchain technologies, as well as the introduction of elements of anonymization and interim control. The proposed measures are aimed at increasing transparency, reducing timeframes and improving the quality of expert decisions in the field of scientific and technological progress.*

Keywords: *expertise, scientific and technical projects, digital platform, international experience, artificial intelligence, blockchain.*

Introduction

In the 21st century, scientific and technical projects have become one of the key instruments for ensuring the technological sovereignty of states and stimulating the national innovation system. According to a review by the World Intellectual Property Organization, global spending on research and development (R&D) reached $2.75 trillion by 2023 [1]. In developed countries such as the United States, Germany, Japan and the Republic of Korea, the share of R&D investment in the GDP structure

reaches 2.5-4.8%, which ensures a steady flow of scientific results and their commercialization. For most developing countries, this figure is significantly lower – at the level of 0.3-1.0%, which creates a gap in technological capabilities and competitiveness. In Kazakhstan, in 2023, expenses on research and development work in 2023 increased by 41.9%, amounting to 172.6 billion tenge [2].

Having studied the relationship between funding sources and R&D performance, analysts from the UNESCO Institute for Statistics concluded that an increase in government funding leads, firstly, to an inefficient use of resources; secondly, it indicates that strategic goals in the field of R&D are either irrelevant or unattractive for entrepreneurs. The effectiveness of scientific and technological progress is directly related to the quality of expert procedures [3].

International experience demonstrates a wide range of approaches to organizing expertise. The role of digital technologies in modernizing expert procedures deserves special attention. The transition to digital expert systems is a global trend that allows for significantly faster consideration of applications, reduced administrative burden, and increased objectivity. The purpose of this work is to conduct a critical analysis of international experience in scientific and technological progress examination and modern digital platforms, identify their advantages and disadvantages, and formulate recommendations for the development of a national examination system in Kazakhstan.

To achieve this goal, the following tasks were solved:

- The experience of the USA, EU, Japan and China in organizing scientific and technological progress examination was studied.
- A comparative analysis of key criteria and organizational models was conducted.
- The functionality of digital platforms supporting expert activity was studied.
- The possibilities of adapting the best world practices in Kazakhstan were determined.

Methods and Materials

The study was conducted in the format of a review and methodological analysis with elements of a comparative and bibliometric approach. The goal is to identify the strengths and weaknesses of international systems of scientific and technical progress assessment, as well as to determine the applicability of these practices in Kazakhstan. The methodological framework of this study (Figure) was built in the form of five consecutive stages, each of which had clearly defined objectives, tools and quality criteria. At the preparatory stage, the goal of the work was formulated, which was to conduct a systemic analysis of international systems for the examination of scientific and technical projects with the subsequent development of recommendations for Kazakhstan. To ensure the representativeness of the comparative analysis, a list of countries and organizations was determined, including the US National Science Foundation (NSF), the European Union's Horizon Europe and European Research Council (ERC) programs, the Japanese New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) and the National Natural Science Foundation of China (NSFC) [4-7]. At the data collection stage, official reports and statistical materials of the selected organizations for the period 2015-2024, scientific publications indexed in the Scopus, Web of Science, IEEE Xplore and Google Scholar databases [8-10], as well as statistical databases of international organizations such as OECD, UNESCO and WIPO, and national statistical agencies were used [3-6]. The selection of sources was carried out according to the criteria of relevance, availability of a detailed description of the examination procedures, official verification of data and high quality of the presented material in English or Russian. Unverified materials from blogs and the media, as well as publications without information on the methods of conducting the examination, were excluded.

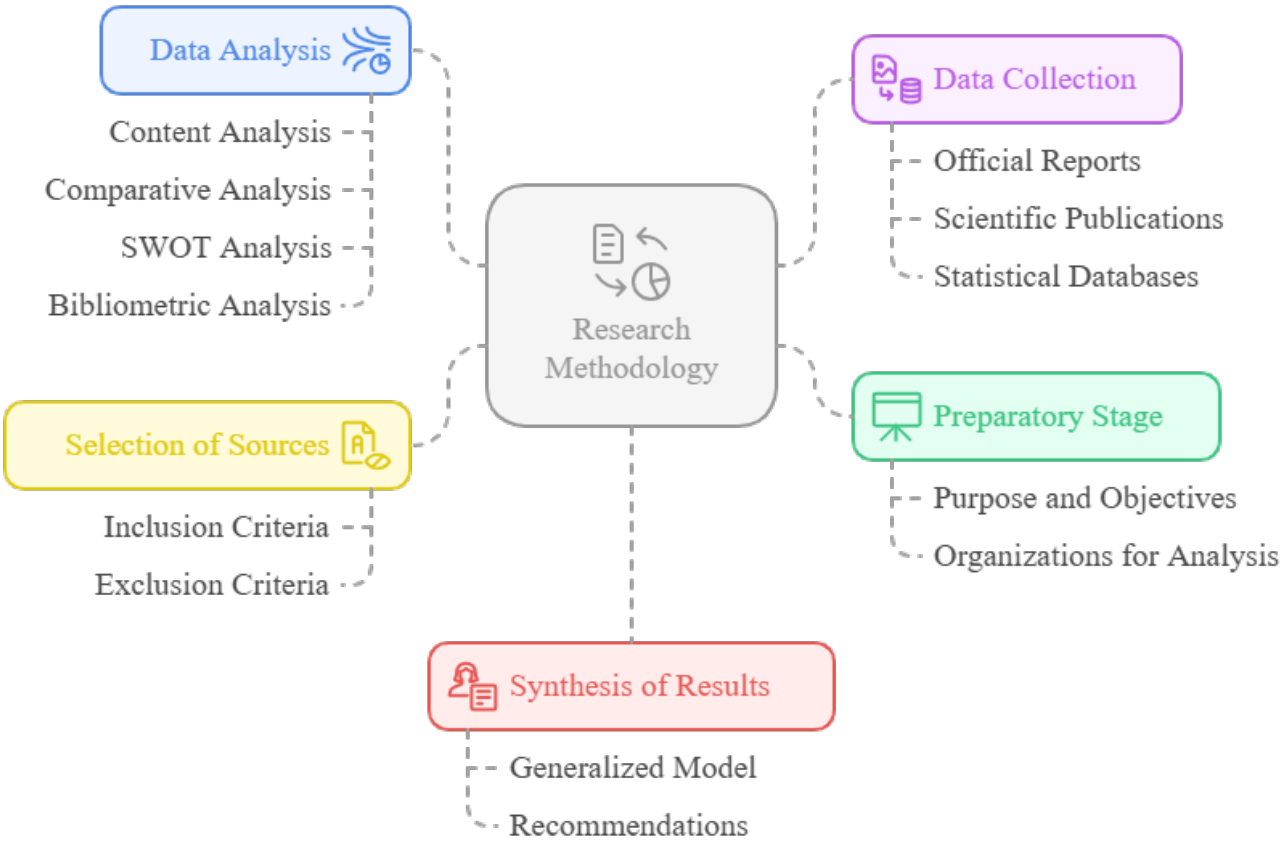
The data analysis included the use of content analysis to identify key organizational models, evaluation criteria and features of procedures, comparative analysis to compare systems according to the parameters of the procedural structure, level of digitalization and transparency, SWOT analysis to determine the strengths and weaknesses, opportunities and threats when implementing foreign practices in Kazakhstan, as well as bibliometric analysis to study the dynamics of publication activity on the topic. The final stage was the synthesis of the results, during which an integrated model was formed reflecting the best international practices, and a set of recommendations for their adaptation to the Kazakhstani context was prepared.

Results and Discussion

In this section, the focus shifts from methodological foundations to practical outcomes. By comparing these approaches, it is possible not only to see what leaders in science have in common, but also to understand what elements of their systems can work in Kazakh conditions.

Comparative analysis of international models of expertise

The analysis showed that approaches to the expertise of scientific and technical projects in leading countries have both common



Stages and Components Name of Research Methodology

features and significant differences due to national priorities, legal systems, the history of the formation of scientific institutions and the level of digitalization.

The United States implements expert evaluation through the National Science Foundation, where two key criteria are Intellectual Merit and Broader Impacts. The first reflects the scientific significance and novelty of the project, the second - its contribution to society and the economy. An important feature is the presence of a multi-level peer review system, including both external anonymous peer review and expert panel meetings. The use of the FastLane digital platform ensures a high level of transparency and simplifies interaction between participants in the process. At the same time, high requirements for the quality of applications and the depth of their development create a significant burden on both applicants and experts [4].

In the European Union, the Horizon Europe program and the European Research Council apply a three-criteria model: Excellence, Impact, and Implementation. Particular attention is paid to reducing bias by anonymizing applications at an early stage and granting applicants the right to respond to the expert opinion. At the same time, high competition is due to the significant volume of applications submitted and limited resources, which encourages participants to prepare only high-quality projects [5]. In Japan, through the NEDO organization, the assessment is carried out throughout the entire life cycle of the project - from preliminary analysis to mid-term monitoring and final assessment. This approach allows for prompt adjustments to the project, adapting it to changing technological and market conditions. At the same time, a high level of administrative reporting and bureaucratic procedures can slow down decision-making [6].

China, represented by the National Natural Science Foundation, combines internationally recognized peer review procedures with a strict strategic focus on priority areas of national development, such as artificial intelligence, quantum technologies, and biotechnology. The integration of artificial intelligence into the process of selecting experts is one of the innovations that allows for the acceleration and accuracy of the formation of expert groups. However, the concentration of resources on a narrow range of areas may reduce the diversity of research initiatives [7].

Table summarizes the results of a compar-

Comparative Analysis of Key Parameters of International R&D Project Evaluation Systems

Parameter	NSF	Horizon Europe	NEDO	NSFC
Country	USA	EU	Japan	China
Key evaluation criteria	2	3	3+	3
Proposal anonymization	No	Yes (1st stage)	No	Partial
Multi-stage evaluation	Yes	Yes	Yes	Yes
Level of digitalization	High	High	Medium	High
Share of supported proposals	20–25%	12–15%	~35%	~20%
Presence of mid-term review	No	No	Yes	No

ative analysis of the key parameters of scientific and technical project assessment systems in the USA, EU, Japan and China. It reflects the main criteria for examination, the degree of digitalization of processes, features of anonymization of applications and indicators of project success, which allows for a clear comparison of the organizational and methodological approaches of different countries [8, 9].

Results of the analysis of digital platforms for supporting expertise

As part of the research, an in-depth analysis of several international digital platforms, which are actively used today to support expert procedures in the field of scientific and technical projects, was carried out. Each of them reflects certain trends in the digitalization of science and is integrated in a different way into the process of evaluating applications [10]. Publons performs an important function of recording and verifying the participation of researchers in peer review. The system documents the contribution of scientists to expert activity, forming their portfolio of reviews. This not only contributes to the strengthening of the culture of transparent peer review but also serves as an additional incentive for researchers whose work receives official recognition [11].

Elsevier Expert Lookup uses artificial intelligence algorithms for intelligent selection of experts based on their publication activity, research topics and scientific collaborations. This approach makes it possible to significantly speed up the formation of expert panels and minimize the human factor in the selection of reviewers. However, dependence on the commercial ecosystem of Elsevier creates certain limitations for specialists working outside its database may be outside the coverage area [12]. OpenAIRE is a key European initiative to provide open access to scientific data and publications. Thanks to these features, OpenAIRE can be effectively used at the early stage of expertise, performing the role of a tool for initial verification of projects in accordance with the principles of open science [13].

ResearchGate stands out for its more flexible and informal approach. As the largest social network for academics, it provides a wide range of tools for searching for experts by keywords, research topics and publications. Although its expert selection mechanism is not as formalized as that of institutional platforms, ResearchGate is particularly useful when searching for experts for interdisciplinary and highly specialized projects, where traditional databases may be less effective [14].

Thus, each of the platforms considered performs its unique function in the ecosystem of digital expertise, and their combined use can significantly improve the quality and efficiency of conducting expert procedures. The analysis of the international experience showed that, no matter how different the countries and their approaches to the examination of scientific and technical projects are, they are based on the same principles: clear criteria, multi-level assessment and the use of digital tools.

Across all systems, whether in the USA, the EU, Japan, or China, three fundamental elements can be observed. First, clearly defined criteria are usually two or three key indicators on which the attention of experts is concentrated. Secondly, a multi-stage procedure, where there is both independent review and collective discussions, which helps to reduce the influence of subjective evaluations.

The United States is betting on a combination of scientific innovation and benefits for society. This means that the project about advanced technologies, but without a clear effect for people, is unlikely to pass. The European Union implements anonymization at the first stage and gives authors a chance to respond to experts' comments - an approach that in-

creases fairness but lengthens deadlines. Japan has introduced an intermediate assessment of projects, and this makes it possible to make corrections in time if something is not going according to plan. China makes maximum use of AI for the selection of experts and concentrates on national priorities quickly, purposefully, but sometimes at the expense of the breadth of scientific topics.

For Kazakhstan, it is possible to take the best of these approaches and adapt them to our realities. For example, introduce intermediate project control according to the Japanese scheme this will help to flexibly manage resources, hide the names of the authors of applications, as in the EU, to reduce the influence of personal connections, create a single digital platform for expertise with an AI selection of experts to speed up the process and expand the reach of specialists, add a criterion of social significance, as in the NSF, to assess not only science, but also its impact on the economy and society. Our analysis is based on open sources. This means that some details, especially according to internal procedures in China and Japan, may be incomplete. But the general regularities are clearly traced. In the future, it would be useful not only to compare procedures, but to measure their effectiveness: how much time the examination takes, what percentage of projects are implemented, what is their yield.

Having analyzed the existing platforms, the following stages of examination of scientific and scientific-technical projects were identified. The core processes for evaluating scientific and scientific-technical projects form a unified sequence that ensures an objective assessment of each proposal. The procedure begins with the applicant's authorization in a digital system, where the application is prepared and a relevant competition is selected, defining the evaluation criteria and thematic scope.

A preliminary check then verifies whether the application meets formal requirements. If issues are found, the applicant may revise the submission. Once validated, the materials undergo a plagiarism check to confirm originality and prevent duplication of existing research. Next, a balanced group of experts is appointed based on qualifications, experience, and the absence of conflicts of interest. These experts conduct the main review, analyzing the project's scientific value, technological relevance, methodological soundness, feasibility, and potential socioeconomic benefit. Their conclusions are then consolidated and verified to ensure consistency.

All expert assessments are processed to produce an overall evaluation and a protocol with recommendations on funding, revision, or rejection. The final materials are forwarded to a scientific advisory body, which makes the ultimate decision. This structured process ensures transparency, enhances trust in evaluation procedures, and supports the selection of the most promising and impactful scientific initiatives.

Conclusion

The conducted analysis of international experience in the examination of scientific and technical projects showed that, despite the diversity of organizational models and procedures, they are based on common principles. These elements form the basis for trust in the results of the examination and ensure their reproducibility. A comparison of the practices of the USA, the European Union, Japan and China made it possible to identify the strengths of each system.

Acknowledgements

This research has been funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR28713385 "Development of an intelligent system of expertise and evaluation of scientific, scientific and technical projects").

REFERENCES

1. World Intellectual Property Organization. World Intellectual Property Indicators 2024 WIPO, 2024. – URL: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-941-2024-en-world-intellectual-property-indicators-2024.pdf (accessed: 15.07.2025).
2. National Science Report 2023. – 2023.
3. Organisation for Economic Co-operation and Development. Commercialising Public Research OECD, 2013. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2013/12/commercialising-public-research_g1g2bcd0/9789264193321-en.pdf (accessed: 15.07.2025).
4. National Science Foundation. About the NSF. – 2024. – URL: https://www.nsf.gov (accessed: 15.07.2025).

5. European Commission. Horizon Europe. 2024. – URL: https://research-and-innovation.ec.europa.eu (accessed: 15.07.2025).
6. New Energy and Industrial Technology Development Organization. NEDO Projects. – 2024. – URL: https://www.nedo.go.jp/english/ (accessed: 15.07.2025).
7. National Natural Science Foundation of China. About NSFC. – 2024. – URL: https://www.nsfc.gov.cn/english/site_1/index.html (accessed: 15.07.2025).
8. Georghiou L. Harper J. C. The evaluation of research: A synthesis of the evidence and a framework for future practice // Research Policy. – 2018. – Vol. 47, № 9. – P. 1620–1630. – DOI: 10.1016/j.respol.2018.06.001.
9. De Rijcke S. Wouters P. F. Rushforth A. D. Franssen T. P. Hammarfelt B. Evaluation practices and effects of indicator use: a literature review // Research Evaluation. – 2016. – Vol. 25, № 2. – P. 161–169. – DOI: 10.1093/reseval/rvv038.
10. Hicks D. Wouters P. Waltman L. de Rijcke S. Rafols I. Bibliometrics: The Leiden Manifesto for research metrics // Nature. – 2015. – Vol. 520, № 7548. – P. 429–431. – DOI: 10.1038/520429a.
11. Clarivate. Publons – Reviewer recognition. – URL: https://publons.com (accessed: 15.07.2025).
12. Elsevier. Expert Lookup. Discontinued servic. – URL: https://www.expertlookup.com/ (accessed: 15.07.2025).
13. OpenAIRE. Be part of Europe's Open Science future. – URL: https://www.openaire.eu/ (accessed: 15.07.2025).
14. ResearchGate. About ResearchGate. – URL: https://www.researchgate.net/ (accessed: 15.07.2025).

Ғылыми-техникалық жобаларды бағалауға арналған халықаралық тәжірибе және сандық платформалар: Қазақстанға арналған сыни шолу және ұсыныстар

[1]МУТАНОВ Галимкаир Мутанович, *т.ғ.д., ҚР ҰҒА вице-президенті, galimkairmutanov@gmail.com,*
[2]АМАНЖОЛОВА Сауле Токсановна, *т.ғ.к., интеллектуалды жүйелер және киберқауіпсіздік департаментінің директоры, S.Amanzholova@astanait.edu.kz,*
[3]SHAYEA IBRAHEEM, *PhD, профессор, ibr.shayea@gmail.com,*
[2]АЛДАШЕВА Лаура Сабитхановна, *т.ғ.к., интеллектуалды жүйелер және киберқауіпсіздік департаменті директорының орынбасары, laura.aldasheva@astanait.edu.kz,*
[2]*АМИРОВА Акжибек Сейтжановна, *PhD, ассистент-профессор, akzhibek.amirova@astanait.edu.kz,*
[1]Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Шевченко көшесі, 28, Алматы, Қазақстан,
[2]Astana IT University, Мәңгілік Ел даңғылы, 55/11, EXPO Бизнес орталығы, С1 блогы, Астана, Қазақстан,
[3]Ыстанбұл техникалық университеті, Маслак, Ыстанбұл, Түркия,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Төрт негізгі өңірдің – АҚШ, Еуропалық Одақ, Жапония және Қытайдың тәжірибесін егжей-тегжейлі талдау арқылы ғылыми-техникалық жобаларды бағалаудың халықаралық жүйелеріне жан-жақты шолу ұсынылған. Бағалауды ұйымдастырудың институционалдық үлгілері, жобаларды таңдау және бағалау принциптері, мүдделер қақтығысының алдын алу тетіктері қарастырылады. Қолданылатын критерийлерге, оның ішінде ғылыми жаңалыққа, әлеуетті әлеуметтік-экономикалық маңыздылыққа, жаңашылдыққа және стратегиялық басымдықтарға сәйкестікке ерекше назар аударылады. Зерттеудің маңызды элементі сарапшыларды іріктеудің автоматтандырылған жүйелерін енгізуді, жарияланымдар қызметінің деректер базасын пайдалануды және ғылыми үлесті бағалау құралдарын біріктіруді қоса алғанда, бағалауды цифрландыру процестерін талдау болып табылады. OpenAIRE, Elsevier Expert Lookup, ResearchGate және Publons сияқты заманауи халықаралық цифрлық платформалардың функционалдық мүмкіндіктерін салыстыру, олардың артықшылықтары мен шектеулерін анықтау жүзеге асырылады. Салыстырмалы талдау негізінде ұлттық жүйелердің күшті жақтары атап өтіледі: қоғамдық маңыздылыққа назар аудару, анонимдеу және екі жақты кері байланыс, жобалардың аралық мониторингі, ба-*

сым бағыттарға стратегиялық назар аудару және жасанды интеллектті пайдалану. Зерттеу нәтижелері бойынша Қазақстан үшін ұсынымдар ұсынылады, оның ішінде жасанды интеллект пен блокчейн технологияларын пайдалана отырып сараптама жүргізу үшін ұлттық интеграцияланған цифрлық платформаны құру, сондай-ақ анонимдеу және аралық бақылау элементтерін енгізу.

Кілт сөздер: *сараптама, ғылыми-техникалық жобалар, цифрлық платформа, халықаралық тәжірибе, жасанды интеллект, блокчейн.*

Международный опыт и цифровые платформы экспертизы научно-технических проектов: критический обзор и рекомендации для Казахстана

[1]МУТАНОВ Галимкаир Мутанович, *д.т.н., вице-президент НАН РК, galimkairmutanov@gmail.com,*
[2]АМАНЖОЛОВА Сауле Токсановна, *к.т.н., директор департамента интеллектуальных систем и кибербезопасности, S.Amanzholova@astanait.edu.kz,*
[3]SHAYEA IBRAHEEM, *PhD, профессор, ibr.shayea@gmail.com,*
[2]АЛДАШЕВА Лаура Сабитхановна, *к.т.н., заместитель директора департамента интеллектуальных систем и кибербезопасности, laura.aldasheva@astanait.edu.kz,*
[2]*АМИРОВА Акжибек Сейтжановна, *PhD, ассистент-профессор, akzhibek.amirova@astanait.edu.kz,*
[1]Институт информационных и вычислительных технологий, ул. Шевченко, 28, Алматы, Казахстан,
[2]Astana IT University, пр. Мангилик Ел, 55/11, Бизнес-центр EXPO, блок C1, Астана, Казахстан,
[3]Стамбульский технический университет, Маслак, Стамбул, Турция,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Представлен комплексный обзор международных систем оценки научно-технических проектов с подробным анализом опыта четырёх ключевых регионов – США, Европейского союза, Японии и Китая. Рассматриваются институциональные модели организации оценки, принципы отбора и оценки проектов, механизмы предотвращения конфликта интересов. Особое внимание уделяется используемым критериям, включая научную новизну, потенциальную социально-экономическую значимость, инновационность и соответствие стратегическим приоритетам. Важным элементом исследования является анализ процессов цифровизации оценки, включая внедрение автоматизированных систем отбора экспертов, использование баз данных публикационной активности и интеграцию инструментов оценки научного вклада. Проведено сравнение функционала современных международных цифровых платформ, таких как OpenAIRE, Elsevier Expert Lookup, ResearchGate и Publons, с выявлением их преимуществ и ограничений. На основе сравнительного анализа выделены сильные стороны национальных систем: ориентация на общественную значимость, анонимизация и двусторонняя обратная связь, промежуточный мониторинг проектов, стратегическая ориентация на приоритетные направления и использование искусственного интеллекта. По результатам исследования предложены рекомендации для Казахстана, включающие создание национальной интегрированной цифровой платформы для проведения экспертизы с использованием технологий искусственного интеллекта и блокчейна, а также внедрение элементов анонимизации и промежуточного контроля.*

Ключевые слова: *экспертиза, научно-технические проекты, цифровая платформа, международный опыт, искусственный интеллект, блокчейн.*

REFERENCES

1. World Intellectual Property Organization. World Intellectual Property Indicators 2024 WIPO, 2024. – URL: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-941-2024-en-world-intellectual-property-indicators-2024.pdf (accessed: 15.07.2025).
2. National Science Report 2023. – 2023.
3. Organisation for Economic Co-operation and Development. Commercialising Public Research OECD, 2013. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2013/12/commercialising-public-research_g1g2bcd0/9789264193321-en.pdf (accessed: 15.07.2025).
4. National Science Foundation. About the NSF. – 2024. – URL: https://www.nsf.gov (accessed: 15.07.2025).
5. European Commission. Horizon Europe. 2024. – URL: https://research-and-innovation.ec.europa.eu (accessed: 15.07.2025).
6. New Energy and Industrial Technology Development Organization. NEDO Projects. – 2024. – URL: https://www.nedo.go.jp/english/ (accessed: 15.07.2025).
7. National Natural Science Foundation of China. About NSFC. – 2024. – URL: https://www.nsfc.gov.cn/english/site_1/index.html (accessed: 15.07.2025).
8. Georghiou L. Harper J. C. The evaluation of research: A synthesis of the evidence and a framework for future practice // Research Policy. – 2018. – Vol. 47, № 9. – P. 1620–1630. – DOI: 10.1016/j.respol.2018.06.001.
9. De Rijcke S. Wouters P. F. Rushforth A. D. Franssen T. P. Hammarfelt B. Evaluation practices and effects of indicator use: a literature review // Research Evaluation. – 2016. – Vol. 25, № 2. – P. 161–169. – DOI: 10.1093/reseval/rvv038.
10. Hicks D. Wouters P. Waltman L. de Rijcke S. Rafols I. Bibliometrics: The Leiden Manifesto for research metrics // Nature. – 2015. – Vol. 520, № 7548. – P. 429–431. – DOI: 10.1038/520429a.
11. Clarivate. Publons – Reviewer recognition. – URL: https://publons.com (accessed: 15.07.2025).
12. Elsevier. Expert Lookup. Discontinued servic. – URL: https://www.expertlookup.com/ (accessed: 15.07.2025).
13. OpenAIRE. Be part of Europe's Open Science future. – URL: https://www.openaire.eu/ (accessed: 15.07.2025).
14. ResearchGate. About ResearchGate. – URL: https://www.researchgate.net/ (accessed: 15.07.2025).

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_479 UDC 620.9:662.6

Research on the Parameters of the Rotor Solar Installation Model

[1]***KUATOVA Anar,** Doctoral Student, anarkuatova2019@gmail.com,
[1]**NURMAGANBETOVA Gulim,** PhD, Acting Associate Professor, g_sahitovna@mail.ru,
[1]**ORAZBEKOVA Assem,** Senior Lecturer, oka-a7@mail.ru,
[2]**YURCHENKO Alexey,** Dr. of Tech. Sc., Professor, niipp@inbox.ru,
[3]**MEKHTIEV Ali,** Cand. of Tech. Sc., Professor, barton.kz@mail.ru,
[1]NCJSC «S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University», 62 Zhenis Avenue, Astana, Kazakhstan,
[2]National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Avenue, Tomsk, Russia,
[3]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
*corresponding author.

Abstract. *The article discusses the development of small-sized renewable energy systems for rural areas of Kazakhstan, which is relevant in the context of the prevalence of hydrocarbon energy sources in the country. Despite the significant energy potential, especially in the southern regions with developed agriculture, the share of renewable energy sources remains low. A model of an ultra-low-power rotary solar installation designed for remote areas not connected to the power grid, where agricultural production and livestock farming are carried out, is presented. The main objective is to study the parameters of this model to create a prototype suitable for operation in the field. Particular attention is paid to the compactness of the design, ensuring ease of transportation and speed of deployment. Also taken into account are the conditions of a hot climate with temperatures above +40°C, efficient cooling of photovoltaic modules is ensured. The design is designed to operate in high dust conditions and is equipped with a self-cleaning system, which increases the reliability and durability of the installation.*

Keywords: *photovoltaic module, tracker, positioning system, orientation system, solar power plant efficiency.*

Introduction

The development and exploration of new types of alternative energy sources no longer requires justification, as this has already become an established and ongoing process. There is a growing trend toward the development of electric transport and the transition to electric traction. Some European countries plan to achieve more than 50% of their energy from renewable sources by 2030 [1].

Currently, Kazakhstan is implementing a state policy aimed at the development of renewable energy sources (RES), as the country has considerable potential. For example, solar radiation levels vary from south to north between 4100 and 5300 MJ/m², while the share of effective radiation ranges from 1600 to 2000 MJ/m². The average number of sunny hours per year ranges from 2200 to 3100, and the annual solar radiation level is between 1100 and 1800 kWh/m².

Given the significant renewable energy potential of Kazakhstan's territory–particularly in its southern regions–it is planned that the share of alternative and renewable energy in the national energy mix will reach 15% by 2030 and 50% by 2050. The climate in the southern regions of Kazakhstan, bordering Uzbekistan, is characterized by a large number of clear days during the summer, high air temperatures, and low annual precipitation.

Kazakhstan also holds significant global reserves of silicon–about 24%–which creates vast opportunities for the production of solar modules [2].

One of the key directions for the development of solar energy in Kazakhstan is the creation of ultra-low-power RES systems, which are essential for remote, off-grid rural residents engaged in agricultural production and transhumance livestock farming. The use of low-power mobile RES systems is especially relevant for supplying energy to temporary nomadic livestock stations, where the installation

of electrical grid infrastructure is impractical.

The goal of this scientific work is to investigate the parameters of a rotary solar installation model for the subsequent development of a prototype renewable energy source (RES) suitable for use in remote rural areas. This model is intended to serve as an alternative to conventional solar trackers and offer several advantages over stationary photovoltaic module (PVM) installations.

First and foremost, the model prioritizes compact dimensions to ensure easy transportation and rapid deployment in field conditions. Secondly, it must provide adequate cooling of the PVMs in hot climates where temperatures exceed 40 °C, as well as withstand high dust levels and enable effective cleaning of the PVM surfaces. A key aspect is to ensure proper orientation of the PVM toward the sun in order to maximize daily energy output.

Since conventional solar trackers can increase the overall cost of a RES system by a factor of 2 to 2.5, it is necessary to find a new solution for the orientation mechanism. Another challenge is posed by strong and gusty winds, which can damage tracker structures.

Taking all these factors into account, the proposed RES design will be suitable for use in the southern and central regions of Kazakhstan. It can be used as a mobile solar power unit to supply energy to small-scale agricultural or livestock farms.

Main Research Provisions

The efficiency of solar power plants can be significantly improved with tracking systems, which enhance daily and annual electricity generation by adjusting the rotation and tilt of photovoltaic modules (PVMs). Studies have demonstrated that small-scale trackers meet speed, movement range, and data reception requirements. Innovations include a rotary hybrid system (RHS) developed using 3D printing, as well as dual-stage photovoltaic systems integrated into the grid, which perform well under real solar radiation conditions. Hybrid photovoltaic-wind systems also contributed to improving energy output.

New systems using rotating solar panel designs have garnered interest, though practical results are still pending. A simple and cost-effective control system, along with a reflector, improves energy efficiency. Research has also focused on systems for better PVM orientation, as well as liquid cooling to boost efficiency.

RES systems in colder regions, such as Siberia and the Russian Far East, have specific challenges considered in design. Solar trackers, though beneficial, are complex and expensive, with costs up to 2.5 times higher than fixed installations. They can increase energy output by 30–80%, but maintenance in harsh winters complicates their use in areas like central and northern Kazakhstan.

The proposed model incorporates rotating PVMs and reflectors, which have been studied before. While reflective mirror control systems are also an option, they share the same complexities as trackers. Solar modules operate most efficiently when perpendicular to sunlight, but their efficiency typically remains under 10% throughout the day. Heating beyond 25°C can decrease efficiency by 0.1–0.3% for every additional degree.

Bifacial PVMs, which generate electricity from both sides, can increase power output by 40–70%. Based on these findings, a new model has been developed featuring PVMs on a rotating cylinder, offering cooling and sun tracking throughout the day. This "solar rotor" concept, intended for rural Kazakhstan livestock farms, eliminates the complexity and wind-sensitivity of traditional tracking systems, potentially enhancing overall solar power plant efficiency.

Materials and Methods

For the purpose of this study, a specially designed model of a rotary solar installation (RSI) was constructed, consisting of three main blocks. The empirical research method was chosen for the investigation.

Figure 1 shows a photograph of the RSI with both stationary and rotating photovoltaic modules (PVMs), which is necessary for comparing their performance under identical lighting conditions.

The first block includes a rotating rotor with 14 photovoltaic modules (PVMs) and a speed-adjustable electric drive. The second block consists of 14 stationary PVMs, with all modules being absolutely identical and having the same specifications. Each RSI block is equipped with a set of measuring instruments, including:

- A combined digital volt-ammeter TZT (manufactured in China): DC voltage 0–100 V; current up to 10 A; measurement accuracy 2%; minimum resolution 0.01 A.
- A USB multimeter ATORCH T18 UD18 based on a DC measurement controller (manufactured in China): DC voltage 3.6–32.0 V (resolution 0.00001 V); current 0–5.10 A (resolution 0.00001 A); electric power 0–160 W (resolution 0.00001 W), with a measurement accuracy of 1%.

The measurement system was calibrated using a UNI-T UT50E digital multimeter with a measurement accuracy of 0.8% (manufactured in China). The experiments used compact monocrystalline PVMs with the following parameters: voltage 5.5 V; current 20 mA; power 0.11 W (manufactured in China). To measure the rotational speed, a Victor DM6234P laser non-contact tachometer was

Figure 1 – Photo of the Rotary Solar Installation (RSI)

1 – Rotor with rotating photovoltaic modules (PVMs); 2 – Stationary photovoltaic modules (PVMs); 3 – Electric drive; 4 – Reflector; 5 – Control and measurement unit with adjustable load (combined digital voltmeter and ammeter, USB multimeter); 6 – Mounting structure for solar panels with adjustable tilt angle; 7 – Digital multimeter; 8 – Laser non-contact tachometer

used: resolution 0.1 rpm; measurement range 2.5–99,999 rpm; error: ±(0.5% + 1 digit). To measure the temperature of the PVMs, an ADA TemPro 650 Hygro A00658 infrared pyrometer was used, with a measurement range of -50 to +650 °C and an accuracy of ±1.5 °C.

The experiments were conducted in the city of Karaganda, in an open field environment (central Kazakhstan). Measurements were taken between 11:30 AM and 12:30 PM. The PVMs were oriented southward. The laboratory test bench was installed on a table.

Geographical coordinates of Karaganda: 49°48′ N, 73°07′ E. The region has a moderately continental climate. The average number of sunny days per year is approximately 2,300 hours, with an average solar radiation level of 1,300 kWh/m² per year and an average power of 130 W/m².

Figure 2 presents a schematic diagram of the laboratory test bench.

In the first block, the photovoltaic modules (PVMs) rotate around their axis in a clockwise direction (reverse rotation is possible). However, it has been established that the direction of rotation is not significant. The speed of the electric drive is adjustable within the range of 0 to 2800 rpm. The rotor has a diameter of 13 mm, made of ABC plastic. Energy is extracted through two copper rings and copper sliding contacts. One side of the rotor has a positive terminal, while the other has a negative one. The rotor contains 14 PVMs connected in parallel, which are connected to control and measurement instruments, as well as an adjustable load with a power consumption range from 0.1 to 5 W.

The second block contains 14 stationary individual PVMs connected in parallel, which are also connected to control and measurement instruments and an adjustable load with a range from 0.1 to 5 W. Both blocks are identical in terms of the control and measurement instruments, as well as the load.

The angle of installation of the PVMs corresponds to the geographical latitude of the city of Karaganda. Adjustments have been calculated for seasonal changes, recommending reducing the angle towards the vertical in winter and increasing it in summer. For Karaganda, located at 49°48′ N latitude, the tilt angle of the PVMs in December is reduced to approximately 36°, and in July, it is increased to about 61°.

Results and Discussion

The tilt angle of photovoltaic modules (PVMs) should be adjusted seasonally to maintain efficiency and reduce sunlight reflection losses. In summer, the angle is more horizontal, while in winter, it is more vertical. For central Kazakhstan, the tilt should range from 8° to 10°. In spring and autumn, the optimal angle matches the location's latitude. Solar energy absorption depends on the angle at which sunlight strikes the surface, with deviations from 90° reducing efficiency.

The orientation of the PVMs relative to the cardinal directions also plays an important role. The figure shows how much the efficiency of the PVMs decreases when they are not oriented toward the south.

In Figure 5, the solar panels are oriented to the south without any longitudinal tilt. The sun is shining from the southeast. The line drawn perpendicularly between the solar panels and the direction of the sun forms an angle equal to 360°/8 = 45 degrees.

The width of a single beam of incident solar radiation can be calculated as:

tan (|90–45|)/sin(|90–45|)=1.41,and the amount of solar energy received by the pan-

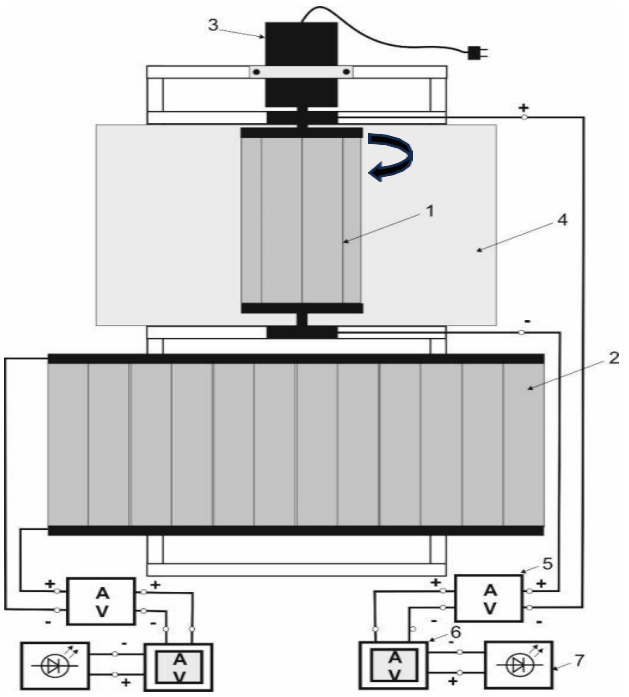


Figure 2 – Schematic Diagram

1 – Rotor with rotating photovoltaic modules (PVMs); 2 – Stationary photovoltaic modules (PVMs); 3 – Electric drive; 4 – Reflector; 5 – Combined digital voltmeter and ammeter; 6 – USB multimeter; 7 – Electric adjustable load

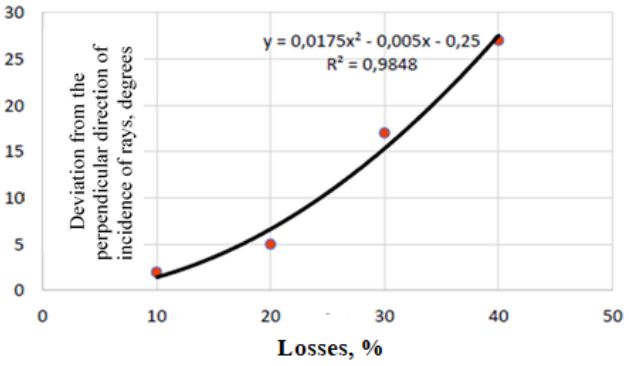


Figure 3 – Decrease in PVM efficiency with deviation from the perpendicular angle of solar radiation incidence

els will be: 1 / 1.41 = 71% of the power that would be received if the sun were shining directly from the south.

During the experiment, it was found that the rotation of the solar rotor significantly reduces the temperature of the photovoltaic modules (PVMs), which directly increases their efficiency. When the solar rotor was briefly rotated at various speeds ranging from 100 to 2800 rpm,

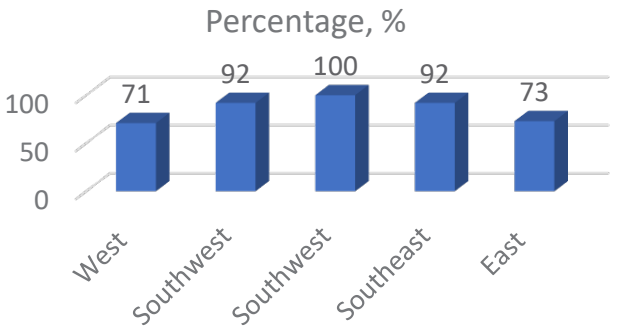


Figure 4 – Orientation direction of the PVMs

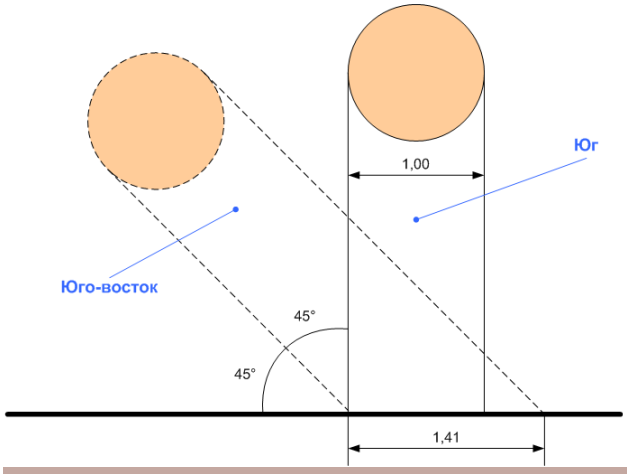


Figure 5 – Width of the solar radiation beam depending on the position of the Sun

it was observed that the temperature of the PVMs dropped rapidly, and an intensive cooling process occurred due to the airflow. The higher the rotation speed of the solar rotor, the faster the surface of the PVMs cooled down.

Comparisons were made with stationary PVMs, which, like the solar rotor, were heated under direct sunlight. Shows the surface temperature of the PVMs facing the sun.

The maximum initial temperature at the start of the rotor was 44.5 °C. During the experiment, the ambient air temperature fluctuated between 25 and 26 °C. The graph clearly shows that the faster the rotor spins, the more rapidly its temperature drops–from 44.5 °C down to 25 °C. At a speed of 1500 rpm, the temperature decreased to 25 °C in less than 5 seconds.

A study was conducted to determine the most effective focal distance from the surface of the reflector to the surface of the PVMs. An increase in voltage was observed as the focal distance h changed. For example, at h = 7.5 cm, the voltage of the solar rotor panels

reached U = 5.63 V. When the reflector was moved back to h = 15 cm, the voltage dropped to U = 5.51 V. Without the reflector, the voltage decreased further to U = 5.36 V.

High-speed rotation of the rotor, in the range of 1500 to 2800 rpm, did not result in a significant increase in power output. The increase in electrical power was primarily due to the use of the reflector, the achievement of an optimal focal distance, and the more efficient cooling of the PVMs. The maximum observed difference in electrical power output between the stationary PVMs and those rotating on the rotor reached 1.56 W. At this point, the rotor-mounted PVMs reached their peak power output, while the stationary PVMs remained at a lower level of 1.12 W, with the voltage readings being U = 5.63 V and U = 5.57 V, respectively. During one hour of exposure (from 11:30 to 12:30), the stationary PVMs heated up under direct sunlight to temperatures of 44–45 °C, which reduced their efficiency. In contrast, the PVMs on the rotor were cooled more effectively due to rotation, maintaining a temperature of no more than 25 °C, which is optimal for their operation. The proposed rotor with PVMs can be more compact compared to stationary PVMs, making it better suited for mobile solar power stations. Rotor rotation also helps keep the PVM surfaces cleaner, reducing dust accumulation and simplifying snow removal. To reduce energy consumption, it is recommended to use a pulsed rotation mode, where the rotor is driven for a few seconds and then continues to spin by inertia, cooling the PVMs. For this, a motor control system with temperature monitoring of the PVMs will be required. Observations showed that a reflector made of unpolished duralumin and one covered with a thin layer of polished aluminum foil proved to be more effective. An important advantage of the rotor is that it does not require an orientation and tracking system to follow the sun's movement from east to west–only seasonal tilt angle adjustments are necessary.

Conclusion

The objective of this work has been achieved; the study of the parameters of the rotary solar installation model has been completed in full. Its operability and potential for further development have been proven. In the future, a prototype of a renewable energy system based on this model will be developed, suitable for use in remote rural areas. The rotor allows for a reduction in the area of the renewable energy system and increases its wind resistance, as well as ensures effective cooling of the permanent magnet generator (PMG) throughout the day. The model being studied has several design features that enable compact transportation and facilitate quick deployment in field conditions. The rotary solar installation model is capable of providing sufficient cooling of the PMG in hot climates, where temperatures exceed +40°C, and can also operate in high levels of dustiness while implementing automatic surface cleaning of the PMG. An important aspect is that the proposed design allows for increased PMG performance compared to its stationary position. Another key point is that the solar rotor does not require an orientation system or tracking the movement of the sun from east to west, only the adjustment of the tilt angle depending on the season.

REFERENCES

1. Boom of solar energy will continue in Germany in 2024 – DW – 03.01.2024
2. A.D. Mekhtiyev, Neshina, Y.G., Alkina, A.D., Davletbaeva, N.B., Yurchenko, A.V. The features of using two-way sensitivity solar modules FSM 280-30D in central Kazakhstan. 2017 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2017 – Proceedings
3. Ezra Pramono. Single Axis Solar Panel Tracking Mount Using Stepper Motor and Accelerometer Positional Control. Senior Project ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT, California Polytechnic State University San Luis Obispo. June 9, 2020
4. Abdurrahman YAVUZDEGER, Fırat EKINCI. A Novel Generation PV Panel Assisted Hybrid Rotary Energy System with Improved Performance and Design Qualities. OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 6(2): 1421-1433, 2023
5. Ali AIM., Mohamed HRA. Improved P&O MPPT algorithm with efficient open-circuit voltage estimation for two-stage grid-integrated PV system under realistic solar radiation. International Journal of Electrical Power & Energy Systems 2022; 137: 107805.
6. Badwawi RA., Abusara M., Mallick T. A review of hybrid solar PV and wind energy systems. Smart Science 2015; 3: 127–138.

7. Bagheritabar M., Bagheitabar H., Kashani MMR., Khodashenas, NS. Photovoltaic systems with rotational panels to harvest natural and artificial light for electrical production. 5th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE), 2018; 211–214.
8. Protik Kumar Das, Mir Ahasan Habib, Mohammed Mynuddin. Microcontroller Based Automatic Solar Tracking System with Mirror Booster. International Journal of Sustainable and Green Energy 2015; 4(4): 125-136.
9. Yurchenko A., Syramkin V., Okhorzina A., Kurkan N. PV effectiveness under natural conditions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2015 - Vol. 81, Article number 012097
10. Yurchenko A., Okhorzina A.V., Bernard N. Numerical Modelling of a PV Concentrator System Based on a Dual-Diode Cell Model Taking into Account Cooling by a Heat Sink. European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC): proceedings, Hamburg, September 14-19, 2015. - Munich: WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH and Co Planungs-KG, 2014 - p. 1444-1447.

Роторлы күн орнату моделінің параметрлерін зерттеу

[1]*ҚУАТОВА Анар Сталовна, *докторант, anarkuatova2019@gmail.com,*
[1]НҰРМАҒАНБЕТОВА Гүлім Сахитовна, *PhD, қауымдастырылған профессор м.а., g_sahitovna@mail.ru,*
[1]ОРАЗБЕКОВА Әсем Қамбарқызы, *аға оқытушы, oka-a7@mail.ru,*
[2]ЮРЧЕНКО Алексей Васильевич, *т.ғ.д., профессор, niipp@inbox.ru,*
[3]МЕХТИЕВ Али Джаванширович, *т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, barton.kz@mail.ru,*
[1]«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Жеңіс даңғылы, 62, Астана, Қазақстан,
[2]Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті, Ленин даңғылы, 30, Томск, Ресей,
[3]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Андатпа. *Мақалада Қазақстанның ауылдық жерлері үшін шағын көлемдегі жаңартылатын энергия жүйелерін дамыту мәселелері қарастырылады, бұл елде көмірсутегі энергия көздерінің таралуы жағдайында өзекті болып табылады. Айтарлықтай энергетикалық әлеуетке қарамастан, әсіресе ауыл шаруашылығы дамыған оңтүстік өңірлерде жаңартылатын энергия көздерінің үлесі төмен күйінде қалып отыр. Ауыл шаруашылығы өнімдері мен мал шаруашылығы жүргізілетін электр желісіне қосылмаған шалғай аудандарға арналған ультра төмен қуатты айналмалы күн қондырғысының үлгісі ұсынылған. Негізгі мақсат – осы үлгінің параметрлерін зерделеу, далада жұмыс істеуге жарамды прототипті жасау. Дизайнның жинақылығына, тасымалдаудың қарапайымдылығына және орналастыру жылдамдығына ерекше назар аударылады. Сондай-ақ, температура +40°C жоғары ыстық климат жағдайлары ескеріледі, фотоэлектрлік модульдерді тиімді салқындату қамтамасыз етіледі. Дизайн жоғары шаң жағдайында жұмыс істеуге арналған және өзін-өзі тазалау жүйесімен жабдықталған, бұл орнатудың сенімділігі мен ұзақ мерзімділігін арттырады.*

Кілт сөздер: *фотоэлектрлік модуль, трекер, позициялау жүйесі, бағдарлау жүйесі, күн электр станциясының тиімділігі.*

Исследование параметров модели роторной солнечной установки

[1]*ҚУАТОВА Анар Сталовна, *докторант, anarkuatova2019@gmail.com,*
[1]НУРМАГАНБЕТОВА Гулим Сахитовна, *PhD, и.о. ассоциированного профессора, g_sahitovna@mail.ru,*
[1]ОРАЗБЕКОВА Асем Камбаровна, *старший преподаватель, oka-a7@mail.ru,*
[2]ЮРЧЕНКО Алексей Васильевич, *д.т.н., профессор, niipp@inbox.ru,*
[3]МЕХТИЕВ Али Джаванширович, *к.т.н., ассоциированный профессор, barton.kz@mail.ru,*
[1]НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет

имени С. Сейфуллина», пр. Женис, 62, Астана, Казахстан,
[2]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
пр. Ленина, 30, Томск, Россия,
[3]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассматривается развитие малогабаритных систем возобновляемой энергетики для сельской местности Казахстана, что актуально в условиях преобладания углеводородных источников энергии в стране. Несмотря на значительный энергетический потенциал, особенно в южных регионах с развитым сельским хозяйством, доля возобновляемых источников энергии остается низкой. Представлена модель сверхмаломощной роторной солнечной установки, предназначенной для отдалённых районов, не подключённых к электросети, где ведется сельскохозяйственное производство и животноводство. Основной целью является исследование параметров данной модели для создания прототипа, пригодного для эксплуатации в полевых условиях. Особое внимание уделено компактности конструкции, обеспечивающей удобство транспортировки и быстроту развертывания. Также учитываются условия жаркого климата с температурами выше +40°C, обеспечивается эффективное охлаждение фотоэлектрических модулей. Конструкция рассчитана на работу в условиях высокой запыленности и оснащена системой самоочистки, что повышает надёжность и долговечность установки.*

Ключевые слова: *фотоэлектрический модуль, трекер, система позиционирования, система ориентации, эффективность солнечной электростанции.*

REFERENCES

1. Boom of solar energy will continue in Germany in 2024 – DW – 03.01.2024
2. A.D. Mekhtiyev, Neshina, Y.G., Alkina, A.D., Davletbaeva, N.B., Yurchenko, A.V. The features of using two-way sensitivity solar modules FSM 280-30D in central Kazakhstan. 2017 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2017 – Proceedings
3. Ezra Pramono. Single Axis Solar Panel Tracking Mount Using Stepper Motor and Accelerometer Positional Control. Senior Project ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT, California Polytechnic State University San Luis Obispo. June 9, 2020
4. Abdurrahman YAVUZDEGER, Fırat EKINCI. A Novel Generation PV Panel Assisted Hybrid Rotary Energy System with Improved Performance and Design Qualities. OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 6(2): 1421-1433, 2023
5. Ali AIM., Mohamed HRA. Improved P&O MPPT algorithm with efficient open-circuit voltage estimation for two-stage grid-integrated PV system under realistic solar radiation. International Journal of Electrical Power & Energy Systems 2022; 137: 107805.
6. Badwawi RA., Abusara M., Mallick T. A review of hybrid solar PV and wind energy systems. Smart Science 2015; 3: 127–138.
7. Bagheritabar M., Bagheitabar H., Kashani MMR., Khodashenas, NS. Photovoltaic systems with rotational panels to harvest natural and artificial light for electrical production. 5th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE), 2018; 211–214.
8. Protik Kumar Das, Mir Ahasan Habib, Mohammed Mynuddin. Microcontroller Based Automatic Solar Tracking System with Mirror Booster. International Journal of Sustainable and Green Energy 2015; 4(4): 125-136.
9. Yurchenko A., Syramkin V., Okhorzina A., Kurkan N. PV effectiveness under natural conditions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2015 - Vol. 81, Article number 012097
10. Yurchenko A., Okhorzina A.V., Bernard N. Numerical Modelling of a PV Concentrator System Based on a Dual-Diode Cell Model Taking into Account Cooling by a Heat Sink. European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC): proceedings, Hamburg, September 14-19, 2015. - Munich: WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH and Co Planungs-KG, 2014 - p. 1444-1447.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_486 UDC 658.8

Integrating CRM and CVM in Telecommunications: A Resource-Based View of Digital Targeted Marketing

[1]***TURGANBAYEVA Madina,** Master Student, m_turganbayeva@kbtu.kz,
[2]**POPOV Stanislav,** Head of the Group for the Development of Targeted Marketing Tools and Architectural Solutions for CVM, stanislav.popov@tele2.kz,
[1]**AITUOV Askar,** Doctoral Student, Senior Lecturer, a.aituov@kbtu.kz,
[1]JSC «Kazakh-British Technical University», 59 Tole Bi Street, Almaty, Kazakhstan,
[2]Tele2/ALTEL, 115 Zheltoqsan Street, 7 floor, Almaty, Kazakhstan,
*corresponding author.

Abstract. *The telecommunications sector is undergoing rapid transformation driven by digitalization, changing customer expectations and growing competition. Traditional marketing methods are losing effectiveness, pushing telecom operators to adopt customer-centric strategies based on digital tools such as Customer Relationship Management (CRM) and Customer Value Management (CVM). The aim of the study is to analyze how the integration of CRM and CVM enhances the effectiveness of targeted marketing and contributes to sustainable competitive advantage in the telecommunications industry. The study applies the Resource-Based View (RBV) framework to evaluate these systems as strategic resources that are valuable, rare, inimitable and non-substitutable (VRIN). A systematic literature review and case study analysis reveal that CRM maturity combined with CVM strategies increases customer retention, optimizes Customer Lifetime Value (CLV) and strengthens digital transformation capabilities. The findings highlight that synergy between CRM and CVM maturity supports the transition from reactive to predictive customer engagement. Ultimately, the integration of CRM and CVM provides telecom operators with the tools to achieve long-term profitability, improve customer experience and maintain competitive leadership in a rapidly evolving market.*

Keywords: *Customer Relationship Management (CRM), Customer Value Management (CVM), targeted marketing, customer lifetime value, digital transformation, resource-based view, telecommunications.*

Introduction

The modern telecommunications industry is undergoing an active process of digital transformation aimed at improving customer interaction and enhancing the effectiveness of personalized marketing approaches. Increasing competition, market saturation and the rapid development of digital technologies are pushing telecom operators to move away from traditional mass marketing toward individualized offers based on data analytics and automation [1, 2].

A key element of this transformation is the Customer Relationship Management (CRM) system, which enables organizations to collect, store and analyze customer information and manage interactions across multiple touchpoints. CRM supports marketing and service operations, provides a unified view of customer data and serves as the foundation for implementing personalized communication strategies [3, 4].

The next stage in customer management evolution is Customer Value Management (CVM), which focuses on maximizing long-term profitability by managing Customer Lifetime Value (CLV) and strengthening customer relationships [5]. Unlike CRM, which emphasizes data collection and operational processes, CVM combines analytical tools, predictive models and strategic metrics that allow companies to assess customer value, forecast behavior and prioritize marketing actions [6].

Despite their conceptual alignment, many telecom operators still manage CRM and CVM as separate systems, which limits the potential of customer-centric strategies. The absence of integration between analytical, operational and strategic layers often results in fragmented data and prevents the formation of a unified

and actionable customer profile [7].

From a theoretical standpoint, the integration of CRM and CVM can be analyzed through the Resource-Based View (RBV) framework, which considers information systems, customer data and analytical capabilities as strategic organizational resources. Their uniqueness, difficulty of imitation and ability to create value allow companies to build sustainable competitive advantages in digital environments [8].

Previous research on CRM and CVM integration demonstrates that the combined use of these systems enhances marketing performance, increases customer satisfaction and contributes to improved retention rates [9, 10]. In the context of continuous digitalization and growing complexity of customer behavior, developing efficient approaches to the integration of CRM and CVM has become a key priority for telecom companies.

The aim of this study is to analyze how the integration of CRM and CVM systems improves the effectiveness of digital targeted marketing within the telecommunications industry and to examine this integration through the lens of the Resource-Based View (RBV).

Materials and Methods

This research applies a systematic literature review (SLR) as the primary methodological approach to analyze and interpret existing academic and applied studies concerning the integration of Customer Relationship Management (CRM) and Customer Value Management (CVM) systems in the telecommunications industry. The SLR method was selected because it allows for a structured and transparent examination of theoretical and empirical sources, ensuring consistency and reliability in identifying the key concepts and findings related to CRM–CVM integration [1, 2].

The review process included the identification, screening and analysis of relevant peer-reviewed literature published between 2004 and 2024. This 20-year period was chosen to capture both the early theoretical developments that laid the foundation for CRM-related research and the more recent studies reflecting digital transformation and customer-centric marketing trends. While the majority of reviewed sources were published within the last 10–15 years, the classic study by Wade and Hulland (2004) was intentionally included because it provides a foundational theoretical framework for the Resource-Based View (RBV) and its application to information systems. This work remains highly influential and continues to be cited in contemporary CRM and digital transformation research, forming the conceptual backbone of this study's theoretical reasoning [8].

Academic databases such as IEEE Xplore, ScienceDirect and SpringerLink were used to collect journal articles and conference papers. The main search keywords included "CRM in telecommunications," "Customer Value Management," "CRM and CVM integration," "digital targeted marketing," and "customer lifetime value." The selection criteria focused on research that examined CRM and CVM in telecom contexts, explored data-driven marketing or customer segmentation, or applied theoretical frameworks such as RBV. Studies that concentrated solely on technical or software engineering aspects of CRM implementation were excluded to maintain focus on managerial and marketing implications.

The final sample of literature incorporated both conceptual and empirical contributions. Studies such as Xu et al. (2010) and Saputra et al. (2019) provided insights into CRM implementation practices and maturity models within telecom environments [1, 2], while later works by PwC, (2012) and Wassouf et al. (2020) explored how CVM strategies and predictive analytics contribute to customer retention and business profitability [6, 7].

The Resource-Based View (RBV) serves as the main theoretical foundation of this research. According to this approach, organizational resources—such as customer data, analytical capabilities and technological infrastructure—can provide sustainable competitive advantages when they are valuable, rare, inimitable and non-substitutable (VRIN) [8]. Within this study, CRM and CVM are interpreted as strategic digital resources that strengthen the organization's ability to manage customer value, predict behavior and optimize marketing performance.

In addition, the CRM Maturity Model proposed by Gartner is used conceptually to contextualize the level of organizational advancement associated with CRM–CVM integration. Although the model is not applied empirically here, it supports the analytical interpretation of how telecom operators transition from operational data management to predictive and value-oriented marketing systems.

By combining a systematic literature review with theoretical reasoning grounded in the RBV framework, this study establishes a comprehensive understanding of the strategic and analytical role of CRM–CVM integration in enhancing the effectiveness of digital targeted marketing in the telecommunications sector.

Results and Discussion

The evolution of Customer Relationship Management (CRM) has been closely linked with the digitalization of marketing processes in the telecommunications industry. Initially emerging in the 1970s as a tool for customer data collection and satisfaction surveys, CRM

gradually evolved from manual data management in spreadsheets to advanced, automated systems capable of analyzing customer behavior and predicting needs [1, 2]. Early innovations such as database marketing and contact management systems laid the groundwork for digital CRM platforms that integrated data from multiple touchpoints to support personalized communication and retention strategies [3, 4]. Figure 1 illustrates this historical evolution of CRM, showing how technological progress – from manual spreadsheets to AI-driven analytics – has shaped the transformation of marketing management in telecommunications.

The introduction of large-scale data warehouses in the 1990s enabled telecom companies to accumulate and process vast amounts of customer information. With the rise of the Internet and mobile communication, CRM systems became essential for managing growing subscriber bases. By the early 2000s, major telecom operators such as China Mobile and China Netcom had already implemented CRM to enhance customer segmentation and service quality through unified customer service platforms [4, 5]. The emergence of global CRM vendors – Oracle, SAP, Microsoft and Siebel marked the beginning of comprehensive data-driven marketing automation [6].

The 2010s were characterized by the rapid spread of Big Data, cloud computing and real-time analytics. These technologies transformed CRM from a reactive system into a proactive platform that supports event-driven marketing. Solutions such as Adobe Marketing Cloud and HubSpot integrated diverse data sources to generate hyper-personalized offers. Telecom operators began transitioning from product-centric marketing, in which predefined products were matched to broad segments, to customer-centric marketing, where individual subscribers received tailored offers based on their real-time behavior [7, 9]. Figure 2 visualizes this conceptual shift from mass-market communication to individualized, data-driven targeting – illustrating the core difference between product-based and customer-centric marketing approaches.

Alongside CRM evolution, the development of Customer Lifetime Value (CLV), Customer Life Cycle (CLC) and Customer Experience (CE) metrics strengthened the customer-centric perspective of telecom companies [7]. These metrics enable operators to evaluate and manage customer relationships across all interaction stages—from acquisition to loyalty. The CLC typically includes four phases: identification, development, stability and recession.

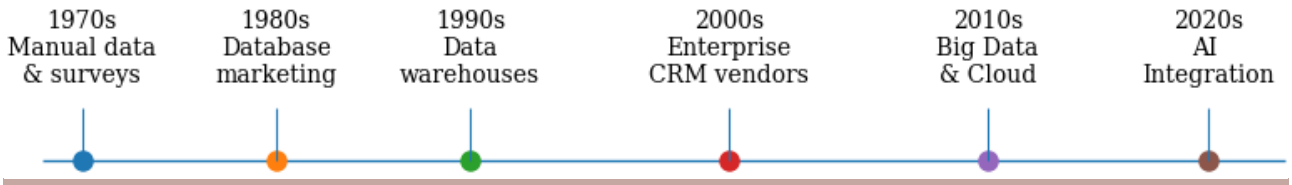


Figure 1 – Evolution of CRM in Telecommunications Industry

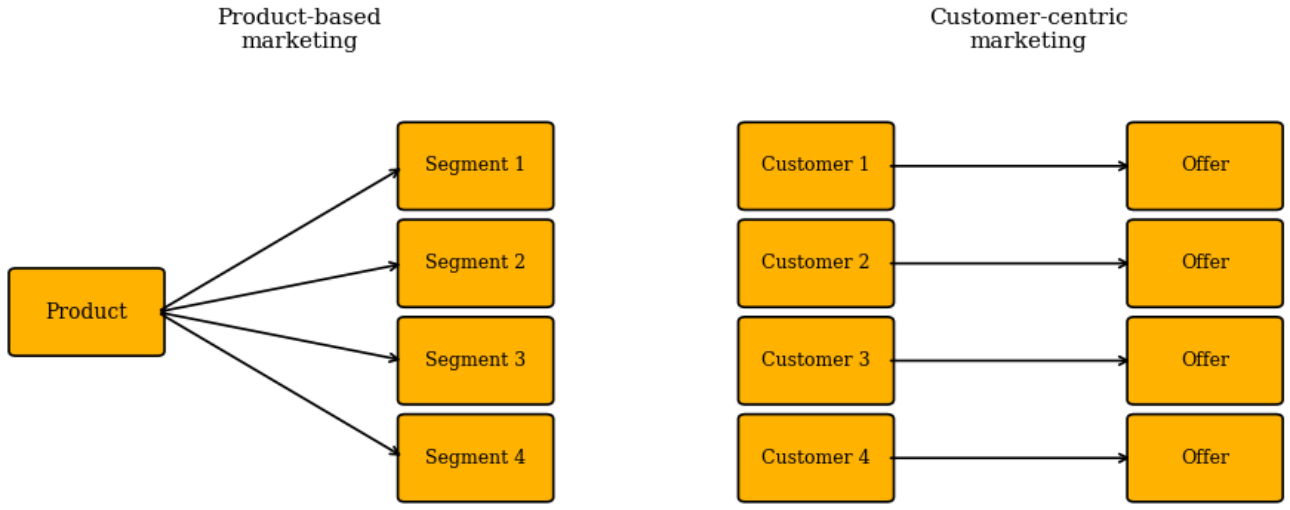


Figure 2 – Product-based vs Customer-centric Marketing Approaches

Each stage reflects opportunities for value creation through data analysis and personalized service delivery. High-quality customer experience across channels directly contributes to improved CLV, reinforcing the link between CRM effectiveness, customer loyalty and profitability [7, 9].

To ensure sustainable performance, telecom operators must integrate CRM not only with marketing systems but also with Business Support Systems (BSS) and Operational Support Systems (OSS). This integration enables seamless service management and consistent customer interactions across digital and offline channels. However, technological diversity, legacy infrastructure and the growing role of over-the-top (OTT) providers create barriers to maintaining a unified customer view. Therefore, continuous improvement of CRM systems – particularly through AI-driven analytics and automation – is critical for maximizing efficiency and ensuring customer retention [10].

The degree to which organizations utilize CRM capabilities is often assessed through CRM maturity models. Frameworks such as the Capability Maturity Model (CMM), the CRM3 Model and the Gartner CRM Maturity Model evaluate how strategically companies employ CRM in relation to technology, processes and data management [2, 3]. According to the Resource-Based View (RBV), CRM maturity determines a firm's ability to transform customer-related information into a strategic resource that generates competitive advantage [8]. Firms with higher CRM maturity integrate analytics, AI and automation into marketing workflows, turning data into valuable, rare, inimitable and non-substitutable (VRIN) assets.

Empirical examples support this view. The case of Telkom Indonesia, the country's largest telecom operator, demonstrates how structured CRM maturity assessment contributes to digital transformation. After adopting CRM in 2016, the company used the Detecon CRM Maturity Model (CRM3) and the e-TOM framework to evaluate its marketing, sales and customer service functions. The results showed an established yet evolving CRM maturity level of 3.67 out of 5, emphasizing the need for enhanced predictive analytics and marketing automation. The findings confirm that increasing CRM maturity directly improves customer retention, satisfaction and overall profitability [2].

Building upon CRM maturity, Customer Value Management (CVM) represents the next stage in telecom digitalization, focusing on optimizing customer profitability and retention rather than pure acquisition. The PwC report Customer Value Management: The Path to Profitable Growth in Telecom [6] highlights that effective CVM strategies can increase EBITDA by 3–5 percentage points through advanced targeting and churn reduction. CVM leverages CRM data to drive long-term value by managing the customer base strategically – rebalancing budgets from acquisition to retention, optimizing payback periods, guiding tariff migrations and personalizing rewards and offers.

From the RBV perspective, CVM transforms CRM systems into strategic resources by embedding predictive analytics, segmentation and personalized engagement models. Telecom operators with mature CVM capabilities can predict churn, identify high-value customers and allocate marketing resources more efficiently [9, 10]. This proactive approach allows companies to move from reactive customer management to predictive and prescriptive marketing, ensuring sustainable revenue growth and stronger customer relationships.

The integration of CRM and CVM thus represents a critical success factor for digital targeted marketing. Their combined use allows telecom operators to shift from mass-market campaigns to hyper-personalized, data-driven interactions. This integration enhances customer satisfaction, increases retention rates and maximizes CLV – key indicators of telecom performance in competitive markets. From the standpoint of the Resource-Based View, CRM and CVM are not merely operational technologies but strategic resources that meet VRIN criteria, enabling telecom organizations to achieve sustainable competitive advantage [8].

However, the study also identifies persistent challenges associated with CRM–CVM integration. Telecom companies with underdeveloped CRM infrastructures often face difficulties in realizing the full potential of CVM. The integration of multiple legacy systems is complex, costly and time-consuming. Furthermore, implementing AI-based analytics and automation requires skilled specialists and data governance frameworks, which can become a limiting factor for many operators [10]. Addressing these challenges requires not only technological investment but also organizational adaptation and cross-departmental collaboration to fully leverage CRM–CVM synergy.

In summary, the findings confirm that CRM–CVM integration significantly improves the effectiveness of digital targeted marketing in telecommunications. Companies that achieve high CRM maturity and implement CVM strategies are better equipped to manage customer data, personalize interactions and sustain long-term profitability. Through the lens of the Resource-Based View, such integration transforms CRM and CVM into strategic assets that generate enduring competitive advantage in the era of digital transformation.

Conclusion

The conducted research demonstrates that the integration of Customer Relationship Management (CRM) and Customer Value Management (CVM) plays a decisive role in the digital transformation of telecommunications companies. The results confirm that combining analytical and operational capabilities allows operators to move from traditional, product-based marketing toward fully data-driven and customer-centric models. This transformation enhances customer satisfaction, improves retention and contributes directly to sustainable revenue growth.

The analysis of CRM evolution highlights that the progression from manual data collection to AI-driven predictive analytics has significantly changed the principles of customer management. The introduction of Big Data, cloud computing and automation has allowed telecom operators to personalize customer interactions on an unprecedented scale. At the same time, the adoption of CVM enables telecom organizations to strategically manage their customer base, optimizing Customer Lifetime Value (CLV) and focusing on long-term profitability rather than short-term acquisition metrics.

From the perspective of the Resource-Based View (RBV), CRM and CVM serve as strategic resources that fulfill the VRIN criteria – being valuable, rare, inimitable and non-substitutable. When properly integrated, these systems form a foundation for competitive advantage by combining customer data, advanced analytics and automation into a unified digital ecosystem. Telecom companies with mature CRM–CVM integration are thus more capable of responding to market dynamics, predicting churn and delivering personalized offers efficiently.

However, the study also identifies several implementation challenges. Many telecom operators face limitations due to fragmented data architectures, legacy systems and insufficient analytical expertise. Overcoming these barriers requires both technological modernization and organizational adaptation, including cross-departmental collaboration between marketing, IT and customer experience teams.

In conclusion, effective CRM–CVM integration not only improves targeted marketing efficiency but also transforms telecommunications companies into data-driven organizations capable of sustaining long-term value creation. By leveraging CRM and CVM as strategic assets within the RBV framework, telecom operators can ensure a higher level of customer engagement, stronger loyalty and a durable competitive advantage in the era of digital transformation.

REFERENCES

1. Xu Yongzhi, Zhang Naiqiang, Yu Haihui. Research on application of Customer Relationship Management to telecommunication. 2010 Second International Conference on Communication Systems, Networks and Applications, Hong Kong, China, 2010, pp. 94–96. DOI: 10.1109/ICCSNA.2010.5588764.
2. Saputra D. A., Handayani P. W., Satria R. Customer Relationship Management (CRM) Implementation Evaluation Using Maturity Assessment in Telecommunication Industry: Case Study of an Indonesian Company. 2019 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS), Bali, Indonesia, 2019, pp. 513–518. DOI: 10.1109/ICACSIS47736.2019.8979692.
3. Parahita A. N., Eitiveni I., Nurchahyo D., Efendi M. Customer Relationship Management System Implementation Process and its Critical Success Factors: A Case Study. 2021 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS), Depok, Indonesia, 2021, pp. 1–7. DOI: 10.1109/ICACSIS53237.2021.9631314.
4. Zhang S. The Customer Relationship Management of China Mobile in Luoyang. 2011 International Conference on Business Management and Electronic Information, Guangzhou, China, 2011, pp. 581–584. DOI: 10.1109/ICBMEI.2011.5921036.
5. Wu Jianhua. Research on China's Telecommunications Industry's CRM System. 2010 International Conference on Networking and Digital Society, Wenzhou, China, 2010, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICNDS.2010.5479611.
6. Strategy& (PwC). Customer Value Management: The Path to Profitable Growth in Telecom. Originally published by Booz & Company, 2012. Available at: https://strategyand.pwc.com.
7. Wassouf W. N., Alkhatib R., Salloum K. et al. Predictive analytics using big data for increased customer loyalty: Syriatel Telecom Company case study. Journal of Big Data, Vol. 7, 2020, Article 29. DOI: 10.1186/s40537-020-00290-0.

8. Wade M., Hulland J. The Resource-Based View and Information Systems Research: Review, Extension and Suggestions for Future Research. MIS Quarterly, Vol. 28, No. 1, 2004, pp. 107–142. DOI: 10.2307/25148626.
9. Selvaraj F. J., Manoharan G., Razak A. et al. Evaluation of Customer Loyalty and CRM in Mobile Communication: Lessons from the New Normal. 2024 3rd International Conference on Computational Modelling, Simulation and Optimization (ICCMSO), Phuket, Thailand, 2024, pp. 216–221. DOI: 10.1109/ICCMSO61761.2024.00052.
10. Ikegwu A. C., Nweke H. F., Anikwe C. V. et al. Big Data Analytics for Data-Driven Industry: A Review of Data Sources, Tools, Challenges, Solutions and Research Directions. Cluster Computing, Vol. 25, 2022, pp. 3343–3387. DOI: 10.1007/s10586-022-03568-5.

Телекоммуникация саласындағы CRM мен CVM интеграциясы: цифрлық мақсатты маркетингке ресурсқа негізделген көзқарас

[1]*ТУРГАНБАЕВА Мадина Жанатовна, *магистрант, m_turganbayeva@kbtu.kz,*
[2]ПОПОВ Станислав Артурович, *мақсатты маркетинг құралдары мен CVM архитектуралық шешімдерін әзірлеу тобының жетекшісі, stanislav.popov@tele2.kz,*
[1]АЙТУОВ Аскар Талгатович, *докторант, аға оқытушы, a.aituov@kbtu.kz,*
[1]«Қазақстан-Британ техникалық университеті» АҚ, Төле би көшесі, 59, Алматы, Қазақстан,
[2]Tele2/ALTEL, Желтоқсан көшесі, 115, 7 қабат, Алматы, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Телекоммуникация саласы цифрландырудың дамуы, тұтынушылардың өзгеріп жатқан күтулері және бәсекелестіктің күшеюі әсерінен белсенді трансформация кезеңінен өтуде. Дәстүрлі маркетинг әдістері тиімділігін жоғалтып, операторлар клиентке бағытталған стратегияларды енгізуге көшуде. Бұл стратегиялар клиентпен өзара қатынастарды басқару жүйесі (CRM) және клиент құндылығын басқару (CVM) сияқты цифрлық құралдарға негізделеді. Зерттеудің мақсаты – CRM мен CVM жүйелерінің интеграциясы телекоммуникация саласындағы мақсатты маркетинг тиімділігін арттыруға және тұрақты бәсекелік артықшылық қалыптастыруға қалай ықпал ететінін талдау. Зерттеу аясында ресурсқа негізделген көзқарас (Resource-Based View) қолданылып, бұл жүйелер құнды, сирек кездесетін, бірегей және алмастырылмайтын стратегиялық ресурстар ретінде қарастырылады. Әдебиеттерге жүйелі шолу мен жағдайлық талдау нәтижелері CRM жетілу деңгейі мен CVM стратегияларының үйлесімі клиенттерді ұстап қалуды жақсартып, олардың өмірлік құндылығын (CLV) оңтайландыратынын және цифрлық трансформацияны күшейтетінін көрсетті. CRM мен CVM арасындағы синергия компаниялардың клиенттермен реактивті өзара әрекеттесуден проактивті модельге көшуіне мүмкіндік береді. CRM және CVM интеграциясы телекоммуникация операторларына ұзақ мерзімді табыстылықты қамтамасыз етуге, клиент тәжірибесін жақсартуға және нарықтағы бәсекелік артықшылықты сақтауға мүмкіндік береді.*

Кілт сөздер: *клиентпен өзара қатынасты басқару (CRM), клиент құндылығын басқару (CVM), мақсатты маркетинг, клиенттің өмірлік құндылығы, цифрлық трансформация, ресурсқа негізделген тәсіл, телекоммуникация.*

Интеграция CRM и CVM в телекоммуникациях: ресурсный подход к цифровому целевому маркетингу

[1]*ТУРГАНБАЕВА Мадина Жанатовна, *магистрант, m_turganbayeva@kbtu.kz,*
[2]ПОПОВ Станислав Артурович, *руководитель группы разработки инструментов целевого маркетинга и архитектурных решений CVM, stanislav.popov@tele2.kz,*
[1]АЙТУОВ Аскар Талгатович, *докторант, старший преподаватель, a.aituov@kbtu.kz,*
[1]АО «Казахстанско-Британский технический университет», ул. Толе би, 59, Алматы, Казахстан,
[2]Tele2/ALTEL, ул. Желтоксан, 115, 7 этаж, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Телекоммуникационная отрасль переживает стремительную трансформацию под влиянием цифровизации, изменяющихся ожиданий клиентов и усиления конкуренции. Традиционные методы маркетинга теряют эффективность, что заставляет операторов связи переходить к клиент-ориентированным стратегиям, основанным на цифровых инструментах, таких как управление взаимоотношениями с клиентами (CRM) и управление ценностью клиента (CVM). Цель исследования – проанализировать, как интеграция систем CRM и CVM повышает эффективность целевого маркетинга и способствует формированию устойчивого конкурентного преимущества телекоммуникационных компаний. В исследовании используется концепция ресурсного подхода (Resource-Based View), позволяющая рассматривать данные системы как стратегические ресурсы, обладающие ценностью, редкостью, уникальностью и незаменимостью. Результаты систематического обзора литературы и анализа кейсов показывают, что зрелость CRM в сочетании со стратегиями CVM повышает удержание клиентов, оптимизирует их жизненную ценность (CLV) и укрепляет цифровую трансформацию бизнеса. Синергия CRM и CVM способствует переходу от реактивного к предиктивному взаимодействию с клиентами. Интеграция CRM и CVM обеспечивает операторам связи инструменты для долгосрочной прибыльности, улучшения клиентского опыта и сохранения конкурентного лидерства на рынке.*

Ключевые слова: *управление взаимоотношениями с клиентами (CRM), управление ценностью клиента (CVM), целевой маркетинг, жизненная ценность клиента, цифровая трансформация, ресурсный подход, телекоммуникации.*

REFERENCES

1. Xu Yongzhi, Zhang Naiqiang, Yu Haihui. Research on application of Customer Relationship Management to telecommunication. 2010 Second International Conference on Communication Systems, Networks and Applications, Hong Kong, China, 2010, pp. 94–96. DOI: 10.1109/ICCSNA.2010.5588764.
2. Saputra D. A., Handayani P. W., Satria R. Customer Relationship Management (CRM) Implementation Evaluation Using Maturity Assessment in Telecommunication Industry: Case Study of an Indonesian Company. 2019 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS), Bali, Indonesia, 2019, pp. 513–518. DOI: 10.1109/ICACSIS47736.2019.8979692.
3. Parahita A. N., Eitiveni I., Nurchahyo D., Efendi M. Customer Relationship Management System Implementation Process and its Critical Success Factors: A Case Study. 2021 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS), Depok, Indonesia, 2021, pp. 1–7. DOI: 10.1109/ICACSIS53237.2021.9631314.
4. Zhang S. The Customer Relationship Management of China Mobile in Luoyang. 2011 International Conference on Business Management and Electronic Information, Guangzhou, China, 2011, pp. 581–584. DOI: 10.1109/ICBMEI.2011.5921036.
5. Wu Jianhua. Research on China's Telecommunications Industry's CRM System. 2010 International Conference on Networking and Digital Society, Wenzhou, China, 2010, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICNDS.2010.5479611.
6. Strategy& (PwC). Customer Value Management: The Path to Profitable Growth in Telecom. Originally published by Booz & Company, 2012. Available at: https://strategyand.pwc.com.
7. Wassouf W. N., Alkhatib R., Salloum K. et al. Predictive analytics using big data for increased customer loyalty: Syriatel Telecom Company case study. Journal of Big Data, Vol. 7, 2020, Article 29. DOI: 10.1186/s40537-020-00290-0.
8. Wade M., Hulland J. The Resource-Based View and Information Systems Research: Review, Extension and Suggestions for Future Research. MIS Quarterly, Vol. 28, No. 1, 2004, pp. 107–142. DOI: 10.2307/25148626.
9. Selvaraj F. J., Manoharan G., Razak A. et al. Evaluation of Customer Loyalty and CRM in Mobile Communication: Lessons from the New Normal. 2024 3rd International Conference on Computational Modelling, Simulation and Optimization (ICCMSO), Phuket, Thailand, 2024, pp. 216–221. DOI: 10.1109/ICCMSO61761.2024.00052.
10. Ikegwu A. C., Nweke H. F., Anikwe C. V. et al. Big Data Analytics for Data-Driven Industry: A Review of Data Sources, Tools, Challenges, Solutions and Research Directions. Cluster Computing, Vol. 25, 2022, pp. 3343–3387. DOI: 10.1007/s10586-022-03568-5.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_1_493 UDC 621.315.177

Engineering of Non-Conventional Power Sources for Remote Monitoring Systems

[1]***YEZHEBAYEVA Sholpan,** Doctoral Student, Senior Lecturer, sh.ezhebayeva@ktu.edu.kz,
[2]**ZAHARUDDIN Mohamed,** Professor, zahar@fke.utm.my,
[3]**KHOMCHENKO Vasily,** Dr. of Tech. Sci., Professor, v_khomchenko@mail.ru,
[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan,
[2]University of Technology Malaysia, Skudai, Johor Bahru, Johor, Malaysia,
[3]Omsk State Technical University, 11 Mira Avenue, Omsk, Russia,
*corresponding author.

Abstract. *This study examines potential autonomous energy sources for remote monitoring devices installed on power transmission lines (PTM). A brief overview of existing power supplies for remote monitoring systems is provided. For each type of existing power supply sources of monitoring systems, the characteristic disturbing effects that occur during their operation were analysed. Experimental studies of the energy characteristics of the induced energy were carried out on a PTM – 500 kV gantry type support. Experiments were conducted to evaluate the induction of electromagnetic energy from live ground wire cables to metal elements of power transmission poles. It was found that the induced voltage in the circuits is about 3 V. The analysis made it possible to design variants of power supply schemes adapted to disturbing factors and aimed at the stable functioning of power supplies for remote monitoring systems.*

Keywords: *non-conventional power sources, remote monitoring systems, power transmission lines, solar panels, induced energy, ground wire cable, guy rods.*

Introduction

Ensuring uninterrupted and high-quality transmission of electricity from generation sources to consumers is a fundamental requirement for the stable functioning of electric power systems [1-2].

In the current conditions, the factors limiting the stable operation of overhead power lines (OPL) are the processes of icing of wires, significant power losses, as well as wear of structural elements, which is an actual operational problem for power grid companies.

In modern conditions, the regions of the Republic of Kazakhstan are characterized by typical factors that contribute to the occurrence of accidents on OPL. The main ones are [3-4]:

- adverse weather conditions (ice on the wires, thunderstorms, heavy rains, fog, squally winds) that can cause short circuits, damage, or wire breaks;
- rare preventive maintenance of power transmission lines, which worsens the condition of the supports, reduces the reliability of insulators and increases vibration loads on metal structures;
- development of corrosion of metal structures of power transmission lines (PTL);
- leakage of currents on the surface of conductors.

The identified factors confirm the relevance of creating and implementing modern remote monitoring systems for structural elements of PTL.

Remote monitoring systems for power transmission lines, which provide dispatching personnel with reliable information about the current state of facilities, are already widely used in non-CIS countries, as well as in the CIS. In the classical version, the measuring unit contains sensors, a controller, a data exchange system, and power [5]. Measuring sensors are placed along the transmission line route - on supporting structures, or directly on wires-and transmit data to the collection and processing centre via a radio channel or cellular communication networks [1]. In the conditions of a significant length of overhead lines and their remoteness from populated areas, the problem of providing power to elements of remote monitoring systems installed directly on poles arises [6].

To date, two types of energy sources are mainly used to power monitoring modules: so-

lar panels and devices that convert the energy of electromagnetic fields induced near current-carrying overhead line conductors [7-9].

The first approach (the most common one) is to place batteries charged from solar panels on the supports. The strengths of the solution include small dimensions while maintaining the required power to power autonomous systems. However, its weak side is the inability to generate constant and stable electricity in adverse weather conditions.

A known device is a power source for collecting energy through a power transmission line using a transformer that extracts energy from a conductor to power a monitoring system. The main task of the proposed device is to power the electronic equipment of the system, rather than limiting the pulse overvoltage of the induced energy. The main disadvantage of the proposed device is the lack of a technical solution to limit the surge surge from a lightning discharge [10].

For high-voltage overhead lines that are remote from populated areas, where long-term operation of solar modules and batteries is technically difficult, the use of induced energy in lightning protection from current-carrying phase wires seems promising.

The object of the study was induced electromagnetic energies in High Voltage PTM - 500 kV.

In order to verify the potential of using this method of power supply for the remote monitoring of power transmission lines, teachers of the Department of Automation of Production Processes at the Abylkas Saginov Karaganda Technical University, together with KEGOC experts, organized experimental studies.

In this paper, we consider the development of two types of autonomous power supplies for remote power line monitoring systems.

Research Methods

The key parameters when choosing solar panels (SP) for autonomous power supply are their energy efficiency and the maximum achievable efficiency factor [4-5].

Based on the analysis of existing work and based on a set of criteria - performance, durability, cost and availability on the market - silicon-crystal SP are considered as the most appropriate solution for our region of the Karagandy region. Their use provides a high level of energy efficiency at a reasonable price and a wide range of models.

According to the results of scientific research, the performance of SP decreases under the influence of a number of negative conditions, including:

- temperature loads and partial shading of photovoltaic installations;
- changes in sunlight intensity;
- reduction of incoming light intensity due to air pollution, dust, clouds and other factors;
- electrical losses in conductors, inverters and the power part;
- power spread of panels connected in series; degradation of photovoltaic cells during operation;
- dependence of output on geographical location, time of year and daylight hours;
- influence of the installation method (tilt angle, orientation azimuth).

Thus, solar power sources in the conditions of high-voltage power lines with long inter-anchor spans have limited predictability and do not provide guaranteed stable power supply to remote monitoring nodes.

One of the possible technical options for organizing the autonomous power supply of the monitoring system can be implemented by using the induced electromagnetic energy of the lightning protection cable of PTM [9]. Experimental studies have shown that the resulting induced energy on the lightning rod is sufficient to power all modules of the monitoring system; moreover, when current flows in phase wires, there is a quasi-continuous induced component, which, unlike photovoltaic sources, does not depend on climatic conditions, time of day and seasonal insolation, but is determined by the electromagnetic coupling of the lightning rod with current-carrying wires and the parameters of the line.

The main disturbing factors for this method of power supply, which potentially reduce the reliability of electronic components, are lightning discharges, atmospheric effects (including ice formations) and switching over voltages. Among these factors, the greatest negative factor for the use of induced energy as a power source is represented by atmospheric and lightning discharges.

The development of autonomous power supplies for remote monitoring systems of power transmission lines was carried out using a set of methods, including experimental research and structural design of the developed equipment. Taking into account the fact that the structure of gantry-type supports of high-voltage lines has a developed metal structure, the issue of using induced energy in metal elements of supports for powering low-power monitoring systems seems relevant. In this regard, it is advisable to conduct an experimental determination of the characteristics of the induced energy of a ground wire cable.

To ensure a stable power supply voltage for the transmission line monitoring system and its protection from lightning discharges, it is necessary to develop several options for autonomous power supply to the system's devices. During the structural synthesis of power sup-

plies, it is necessary to provide for measures to minimize the influence of disturbing factors that reduce the reliability of local systems.

Scientific Results

As part of the ongoing research to assess the prospects for using induced energy in the cable ties of gantry poles of overhead power transmission lines of voltage class 500 kV, developed and implemented an experimental technique.

Supports № 137 and № 144 in Figure 1 were selected as the objects of the study, where a comprehensive analysis of the voltage between the guy rods located on one side of the portal structure, as well as the current flowing in them, was carried out. To ensure the reliability of the results, the oxide film was previously removed at the attachment points of the cable ties, after which canine clamps of the KS (hereinafter referred to as clamps) type 6 were installed on the prepared surfaces, providing reliable electrical contact.

The current parameters were recorded using pliers manufactured by ARRA company, which made it possible to achieve high accuracy in recording instantaneous values. The voltage between the cables was measured using a voltmeter 7, the terminals of which were connected directly to the installed terminals. Additionally, the current strength in the cables was controlled by a clamp-type ammeter, which made it possible to compare the data obtained and their subsequent analytical processing.

In the course of the experimental studies, quantitative data were obtained characterizing the distribution of voltages and currents in the cable ties of portal supports. Thus, the measurements showed that the voltage between the first and second guy rods for support № 137 is about 0.3 V, while for support № 144 it decreases to 0.2 V. Similar results for the third and fourth guy rods show values of 0.27 V and 0.19 V, respectively.

The average values of the currents recorded between the specified pairs of guy wires are shown in the table 1.

In the Figure 2 shows the dependence of the voltage between the guy rods on the average value of the current in a closed circuit formed by the upper beam of the support and its lower end. It should be noted that all measuring points were located on one side of the structure, which made it possible to eliminate the influence of geometric asymmetry and ensure the correctness of the comparison of the data obtained.

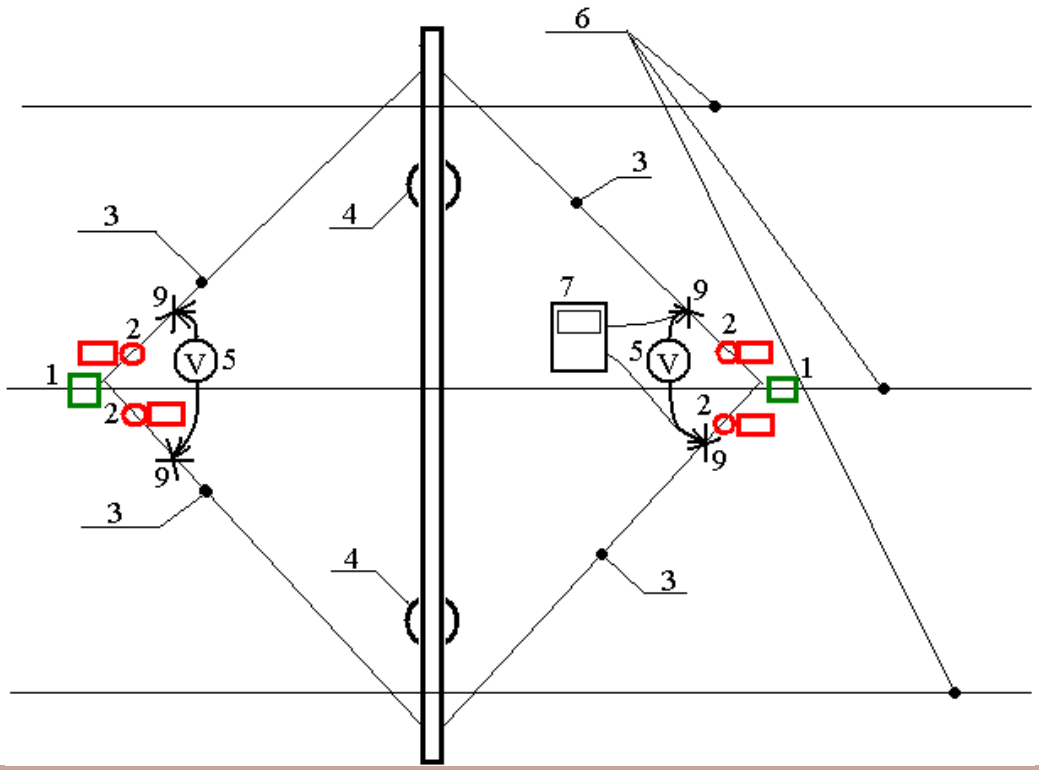


Figure 1 – Voltage measurement scheme

1 - current-carrying power line wires; 2 - clamp ammeter (current measuring pliers); 3 - reinforced concrete plates for fixing cable guy wires; 4 - cable guy wires of the support; 5 - power line supports; 6 - contact (canine) clamps; 7 - voltmeter; 8 – oscilloscope.

Based on the data obtained and analyses of existing power supply sources for remote monitoring systems of power lines, taking into account disturbing factors, structural schemes of autonomous power sources were developed: the first option with solar panels and the second option using induced energy in a ground wire cable.

In the first version of the power source, solar energy is converted by two south-facing solar panels. Their block diagram is shown in Figure 3.

Structural description of the power supply scheme contains:

- Solar panels (A1, A2) are installed at an angle of ≈50° (for the Karaganda region) to the horizon, which gives a small loss of electricity for primary electricity generation.

Table 1 - Current values in guy wires

№ Supports	№ 137	№ 144
Between guy rods № 1 and № 2	13 mA	126 mA
Between guy rods № 1 and № 2	5 mA	195 mA

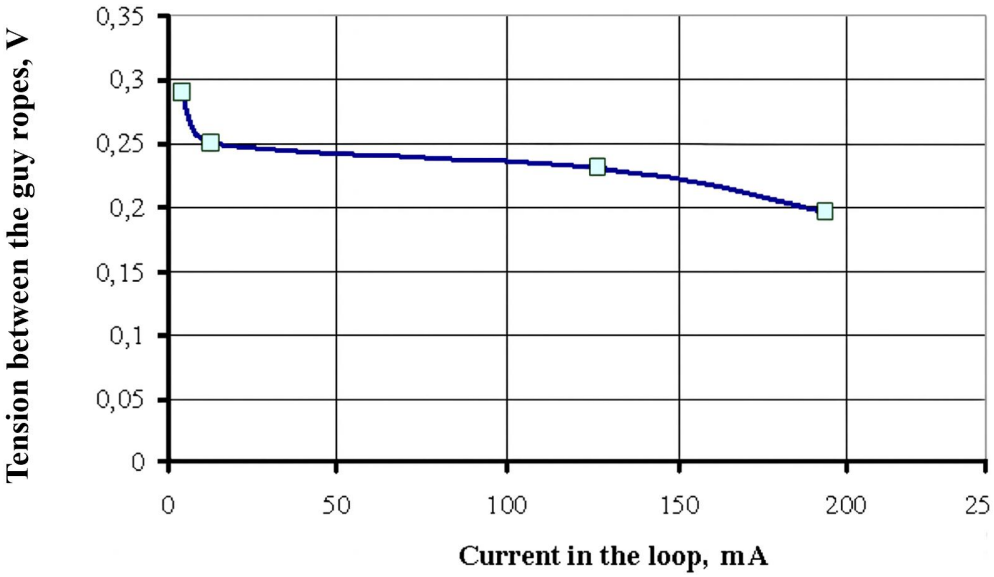


Figure 2 - The dependence of the voltage between the guy rods on the average value of the current

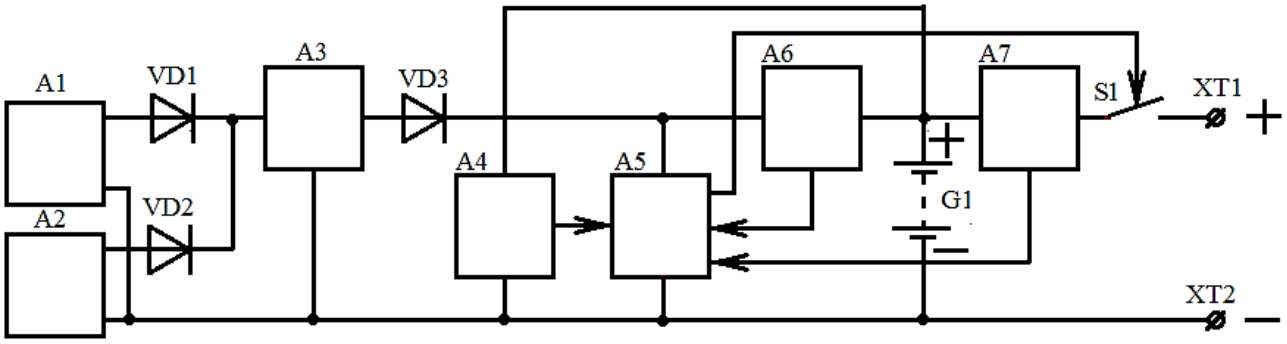


Figure 3 – Block diagram of the power supply using solar panels

- Diode decoupling (VD1, VD2) is connected in series with solar panels to allow current to flow in only one direction and prevent energy from flowing between the solar panels.

- The pulse stabilizer (A3) is stabilized the voltage using high-frequency switching of transistors.

- Battery storage (G1) is device for the accumulation (storage) of electrical energy and for its subsequent output in the form of direct current. The capacity is designed for up to three days of autonomy.

- Diode battery protection (VD3) is prevented reverse discharge through the stabilizer's internal circuits, saving the drive's life.

- The charge controller (A5) is controlled the charging process of the battery, protecting it from overcharging, over-discharging and incorrect charging current.

- The voltage sensor (A4) is measured the electrical voltage in the circuit and transmits its value to the controller, monitoring system or other equipment.

- Current sensors (A6, A7) is measured the amount of electric current in the circuit and transmit the data to the controller or monitoring system.

- Automatic load disconnector (S1) automatically breaks the circuit in case of overload, short circuit or emergency modes, preventing damage to equipment and wiring.

The other power supply of an autonomous system can be realized at the expense of energy induced in a ground wire cable, while taking into account pulse overvoltages resulting from switching processes and lightning discharges. The block diagram of the power supply is shown in Figure 4.

The technical result of the proposed utility model is to limit the amplitude of pulse overvoltages from lightning discharges by means of a spark gap A2 (Figure 4), which provides a spark breakdown if the voltage exceeds the permissible value. The excess energy is used to generate heat in an electric arc discharge between the electrodes of the arrestor A2. At the same time, during the time interval of the transient process, the lightning discharge current flowing through the primary winding of transformer A3 leads to saturation of the transformer's magnetic circuit and there is no voltage on the secondary winding of the transformer during this time interval. As a result, the probability of damage to the powered equipment is reduced and the reliability of the power line monitoring system is increased.

The block diagram of the power supply source from the energy of the lightning cable contains: A1 – the ground wire cable of the power line, A2 – the arrester, A3 – transformer, A4 – rectifier, A5 – capacitive filter, A6 – voltage stabilizer (VS), A7 – monitoring system (MS).

Conclusions

The conducted studies have confirmed the possibility of practical use of induced energy in the structural elements of portal supports of high-voltage overhead power transmission lines. Experimental data have shown that the induced voltage in the circuits formed by cable ties and support rails reaches a value of about 0.3 V at low currents and maintains stable values over a wide range of operating modes. With an increase in current above 130 mA, a regular decrease in voltage is observed, which indicates the need to take into account the nonlinear characteristics of the medium and optimize matching schemes.

A comparative analysis of the energy characteristics of induced energy and photovoltaic sources has shown that induced processes have a number of advantages: they do not depend on climatic conditions, time of day and seasonal factors, providing more stable power

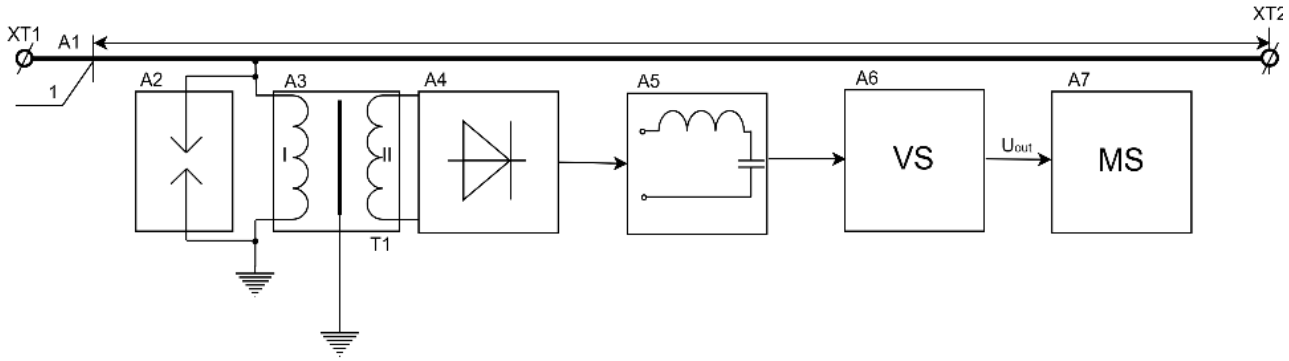


Figure 4 – Block diagram of a power supply unit with an overvoltage protection device for powering a power line monitoring system

supply for distributed monitoring modules. At the same time, their voltage level remains limited, which requires the development of specialized converters and energy storage devices.

Based on the results obtained, two variants of structural schemes of autonomous power supplies for monitoring systems mounted on overhead transmission towers are proposed. These solutions are aimed at improving the reliability and energy autonomy of diagnostic complexes, as well as integration with intelligent control systems within the framework of the "smart grid" concept.

Thus, the work forms the scientific and practical basis for the further development of hybrid power supply systems combining solar panels and induced energy, which will ensure maximum stability and durability of monitoring systems in the power grids of the Republic of Kazakhstan.

REFERENCES

1. Samarin A., Masalov V. Control engineering rossija #3 (45), 2013.
2. V.V. Kaverin, V. G. Khomchenko, and Sh. Ye. Yezhebayeva, Review and analysis of existing power supplies for monitoring systems located on the supports of overhead power lines, Presented at Proceedings (Saginov's Readings), No. 12, June 2020, Karaganda, Kazakhstan, pp. 743-745.
3. Khawaja, A. H., Huang, Q., & Khan, Z. H. (2017). Monitoring of Overhead Transmission Lines: A Review from the Perspective of Contactless Technologies. Sensing and Imaging, 18(1), Article 24. https://doi.org/10.1007/s11220-017-0172-9
4. Kasimov V.A. Dissertacionnaja rabota. Metod lokacionnogo monitoringa gololedobrazovanija i povrezhdenij na vozdushnyh linijah jelektproperedachi i programmno-apparatnye komleksy dlja ego realizacii. Kazan' - 2019.
5. Dr. A. Peabody. Evolution of Real-time Monitoring and its Future Benefits. IWAIS XIII, Andermatt, September 8 to 11, 2009.
6. Power Line Sensor Networks for Enhancing Power Line Reliability and Utilization. A Dissertation Presented to The Academic Faculty By Yi Yang In Partial Fulfillment Of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the School of Electrical and Computer Engineering Georgia Institute of Technology August 2011 Copyright © Yi Yang, 2011.
7. Breido I., Khomchenko V., Kaverin V., Yezhebaeva Sh., Shoshymbekova G. The Issue of Developing Power Supplies for Remote Monitoring Systems of Overhead Power Lines. Proceedings of the University, No.2 (83), 2021, p. 160-163. DOI: 10.52209/1609-1825_2021_2_153.
8. Kaverin, V.V., Nurmaganbetova, G.S., Em, G.A., Yezhebayeva, S.Y. Simulation of Induced Energy Distribution Processes in the Ground Wire Cable of High-Voltage Overhead Power Lines. International Journal on Energy Conversion, 2021, 9(6), pp. 275–282. DOI: https://doi.org/10.15866/irecon.v9i6.21083
9. B. Iosif & K. Vladimir & Ye. Sholpan. Research and Modelling Induced Energy Distribution Processes in the Ground Wire Cable, 2021 DOI:10.2507/32nd.daaam.proceedings.084
10. Patent USA, WO2010/042565 «Power line energy harvesting power supply», published 15.04.2010.

Қашықтан бақылау жүйелері үшін дәстүрлі емес электрқуат көздерін жобалау

[1]*ЕЖЕБАЕВА Шолпан Есенгельдыевна, *докторант, аға оқытушы, sh.ezhebayeva@ktu.edu.kz,*
[2]ЗАХАРУДДИН Мухамед, *профессор, zahar@fke.utm.my,*
[3]ХОМЧЕНКО Василий Герасимович, *т.ғ.д., профессор, v_khomchenko@mail.ru,*
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Малайзия технологиялық университеті, Скудай, Джохор-Бару, Джохор, Малайзия,
[3]Омск мемлекеттік техникалық университеті, Мира даңғылы, 11, Омск, Ресей,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Зерттеу электр беру желілерінде (ЭЖЖ) орнатылған қашықтықтан бақылау құрылғылары үшін әлеуетті дербес энергия көздерін қарастырады. Қашықтан бақылау жүйелері үшін қолданыстағы қуат көздеріне қысқаша шолу жасалады. Мониторинг жүйелерінің қолданыстағы электрмен жабдықтау көздерінің әрбір түрі үшін оларды пайдалану процесінде туындайтын тән бұзушылық әсерлер талданды. Бағытталған энергияның энергетикалық сипаттамаларына эксперименттік зерттеулер ЭЖЖ – 500 кВ портал типіндегі тіректе жүргізілді. Электр магниттік энергияның индукциясын грозотрос сымдарынан электр беру тіректерінің металл элементтеріне дейін бағалау бойынша эксперименттер жүргізілді. Тізбектердегі индукциялық кернеудің мәні шамамен 3 В екендігі анықталды. Жүргізілген талдаулар негізінде қашықтан бақылау жүйелерінің электрмен жабдықтау көздерінің тұрақты жұмыс істеуі үшін бұзушы факторларды ескере отырып, қуат көздерінің құрылымдық схемаларының екі нұсқасы жобаланды.*

Кілт сөздер: *дәстүрлі емес қуат көздері, қашықтан бақылау жүйесі, электр желілері, күн панельдері, индукциялық энергия, найзағай сымы, керме.*

Проектирование нетрадиционных источников электропитания для систем удаленного мониторинга

[1]*ЕЖЕБАЕВА Шолпан Есенгельдыевна, *докторант, старший преподаватель, sholpanzhekeyeva@gmail.com,*
[2]ЗАХАРУДДИН Мухамед, *профессор, zahar@fke.utm.my,*
[3]ХОМЧЕНКО Василий Герасимович, *д.т.н., профессор, v_khomchenko@mail.ru,*
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]Университет технологий Малайзии, Скудай, Джохор-Бару, Джохор, Малайзия,
[3]Омский государственный технический университет, проспект Мира, 11, Омск, Россия,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В исследовании рассматриваются потенциальные автономные источники энергии для устройств удаленного дистанционного мониторинга, установленных на линиях электропередач. Представлен краткий обзор существующих источников электропитания для систем удаленного мониторинга. Для каждого типа существующих источников электропитания систем мониторинга были проанализированы характерные возмущающие воздействия, возникающие в процессе их эксплуатации. Экспериментальные исследования энергетических характеристик наведённой энергии проводились на опоре портального типа ВВЛЭП – 500 кВ. Проведены эксперименты по оценке индукции электромагнитной энергии от проводов грозотрос, находящихся под напряжением, к металлическим элементам опор электропередачи. Выявлено, что значение наводимого напряжения в контурах около 3 В. На основе проведенных анализов были спроектированы два варианта структурных схем электропитания, с учетом возмущающих факторов для стабильной работы источников электропитания систем удаленного мониторинга.*

Ключевые слова: *нетрадиционные источники электропитания, система удаленного мониторинга, линии электропередач, солнечные панели, наведённая энергия, грозотрос, оттяжка.*

REFERENCES

1. Samarin A., Masalov V. Control engineering rossija #3 (45), 2013.
2. V.V. Kaverin, V. G. Khomchenko, and Sh. Ye. Yezhebayeva, Review and analysis of existing power supplies for monitoring systems located on the supports of overhead power lines, Presented at Proceedings (Saginov's Readings), No. 12, June 2020, Karaganda, Kazakhstan, pp. 743-745.
3. Khawaja, A. H., Huang, Q., & Khan, Z. H. (2017). Monitoring of Overhead Transmission Lines: A Review from the Perspective of Contactless Technologies. Sensing and Imaging, 18(1), Article 24. https://doi.org/10.1007/s11220-017-0172-9
4. Kasimov V.A. Dissertacionnaja rabota. Metod lokacionnogo monitoringa gololedobrazovanija i povrezhdenij na vozdushnyh linijah jelektroperedachi i programmno-apparatnye komleksy dlja ego realizacii. Kazan' - 2019.
5. Dr. A. Peabody. Evolution of Real-time Monitoring and its Future Benefits. IWAIS XIII, Andermatt, September 8 to 11, 2009.
6. Power Line Sensor Networks for Enhancing Power Line Reliability and Utilization. A Dissertation Presented to The Academic Faculty By Yi Yang In Partial Fulfillment Of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the School of Electrical and Computer Engineering Georgia Institute of Technology August 2011 Copyright © Yi Yang, 2011.
7. Breido I., Khomchenko V., Kaverin V., Yezhebaeva Sh., Shoshymbekova G. The Issue of Developing Power Supplies for Remote Monitoring Systems of Overhead Power Lines. Proceedings of the University, No.2 (83), 2021, p. 160-163. DOI: 10.52209/1609-1825_2021_2_153.
8. Kaverin, V.V., Nurmaganbetova, G.S., Em, G.A., Yezhebayeva, S.Y. Simulation of Induced Energy Distribution Processes in the Ground Wire Cable of High-Voltage Overhead Power Lines. International Journal on Energy Conversion, 2021, 9(6), pp. 275–282. DOI: https://doi.org/10.15866/irecon.v9i6.21083
9. B. Iosif & K. Vladimir & Ye. Sholpan. Research and Modelling Induced Energy Distribution Processes in the Ground Wire Cable, 2021 DOI:10.2507/32nd.daaam.proceedings.084
10. Patent USA, WO2010/042565 «Power line energy harvesting power supply», published 15.04.2010.

Информационное сообщение

Республиканский научно-технический журнал «Университет еңбектері – Труды университета» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» входит в перечень изданий, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК для публикации основных результатов научных диссертаций (свидетельство о перерегистрации № KZ63VPY00044097 от 15.12.2021 г.).

Результаты реформы высшей школы и системы научной аттестации в Республике Казахстан, основанные на трехуровневой системе образования, в соответствии с принципами Болонского процесса: академической мобильностью, международным обменом, двудипломным образованием, множественностью траекторий обучения в бакалавриате, магистратуре и докторантуре, развитием системы дистанционного образования, положительно влияют на все сферы жизни университета, в том числе и на содержание статей в журнале.

Проблемы высшей школы в рамках Болонского процесса, инновационное развитие профессионального образования на базе специализированных программно-аппаратных комплексов и телекоммуникационных средств, с последующим созданием систем дистанционного образования, не ограниченных в географических границах, стали платформой, объединяющей ученых и преподавателей высших учебных заведений Республики Казахстан, стран ближнего и дальнего зарубежья.

Примерами являются международные контакты ученых, преподавателей, студентов, магистрантов и докторантов с коллегами из России, Германии, Чехии, Японии, Китая и других стран, участие университета в международных программах «Синергия», «ТЕМПУС», УШОС.

Известные в РК, СНГ и дальнем зарубежье ученые Казахстана продолжают плодотворную работу по подготовке магистров и докторов:

в области горного дела, геологии, геофизики, безопасности жизнедеятельности – доктора наук: Выжва С.А., Демин В.Ф., Исабек Т.К., Ибраев М.К., Коликов К.С., Низаметдинов Ф.К., Пак Ю.Н., Портнов В.С.;

в области машиностроения и металлургии – доктора наук: Глотов Б.Н., Жетесова Г.С., Исагулов А.З., Варгула Л., Окишев К.Ю., Шеров К.Т.;

в области строительства и транспорта – доктора наук: Ибатов М.К., Кадыров А.С., Малыбаев С.К., Нугужинов Ж.С., Сахапов Р.Л.;

в области педагогики высшей школы и экономики – доктора наук: Аубакирова Г.М., Бирюков В.В., Головачева В.Н., Исмакова Б.С., Кошебаева Г.К., Лисецка К., Пак Ю.Н., Сагинтаева С.С.;

в области автоматизации и электроэнергетики – доктора наук: Ахметов Б.С., Каталинич Б.

Своими научными достижениями и публикациями, культурой и инновационной направленностью статей, публикуемых в журнале, ученые университета помогли журналу приобрести новое качество.

АО «Национальный центр государственной научно-технической экспертизы» определил импакт-фактор научного журнала «Университет еңбектері – Труды университета» за 2020 г., который по Казахстанской базе цитирования составляет величину, равную 0,037, импакт-фактор журнала по РИНЦ составляет 0,031.

Воплощая государственную политику триединства языков, журнал предоставляет возможность публикации статей на казахском, русском или английском языке.

Основная тематическая направленность журнала определена в публикации материалов по следующим разделам:

1. Машиностроение. Металлургия.
2. Геотехнологии (Горное дело. Геофизика. Геология). Безопасность жизнедеятельности.
3. Строительство. Транспорт.
4. Педагогика высшей школы. Экономика.
5. Энергетика. Автоматика. Информационно-коммуникационные технологии.

Собственник журнала: НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда).

Территория распространения журнала: Республика Казахстан, страны СНГ.

Почтовый адрес: 100027 г. Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56.

Факс: (8-7212)-56-03-28.

Журнал выходит 4 раза в год – ежеквартально.

Адрес редакционно-издательского центра (РИЦ):

100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 60, IV корп., ауд. 208.

Электронный сайт журнала: http://tu.kstu.kz/.

E-mail редакционно-издательского центра: rio@ktu.edu.kz

Тел.: 8-7212-56-75-94 + 1057

Правила оформления и представления статей

Статья представляется в редакцию в электронном виде только через сайт журнала **http://tu.kstu.kz/.** Структура статьи должна включать: **введение, методы исследования, научные результаты, выводы.** Статья должна иметь: УДК, резюме, содержащее 6-7 предложений (не более 300 слов) **(обязательно должно включать цель исследования),** ключевые слова – не более 15 слов и словосочетаний, сведения об авторах **(ФИО полностью, ORCID, должность, регалии, страна, почтовый индекс, город, место работы, полный адрес организации)** – всё на русском, казахском и английском языках. Список литературы должен быть **дополнительно транслитерирован.** Объем статьи должен быть не менее 6-ти и не более 10 страниц машинописного текста. Текст статьи печатается через один интервал форматом А4, страницы нумеруются. Текст необходимо набирать в редакторе Word шрифтом Times New Roman, размер шрифта (кегль) – 14. Все буквенные обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснять в основном или подрисуночном тексте. Рисунки должны быть хорошего качества, иметь расширения, совместимые с Word, т.е. CDR, JPG, PCD, TIF, BMP. **Количество рисунков не более 5.** Формулы должны быть набраны в формуляторе **MathMagic,** совместимом с программой InDesign, и дополнительно сохранены отдельным файлом с расширением MMF. При наборе формул в Word **не использовать конструктор по работе с уравнениями.** Нумеровать следует только те формулы и уравнения, на которые есть ссылка в последующем изложении. В статье не должно быть сложных и громоздких формул и уравнений, а также промежуточных математических выкладок. **Количество формул не более 8.** Все сокращения и условные обозначения в формулах следует расшифровать, размерности физических величин давать в системе СИ, названия иностранных фирм, их продуктов и приборов – в транскрипции первоисточника с указанием страны. Список литературы **(за последние 10-15 лет, только органически связанной со статьей, не более 10, в статьях обзорного характера не более 15)** составляется в порядке цитирования и дается в конце статьи. Ссылки на литературу в тексте отмечаются порядковыми цифрами в квадратных скобках, а именно [1, 2]. Авторские свидетельства и патенты в списке литературы оформляются следующим образом: номер, название, год и № «Бюллетеня изобретений».

Статьи, не соответствующие тематике разделов журнала, отклоняются на начальном этапе.

Средняя продолжительность публикации составляет 8-9 месяцев.

После регистрации на сайте каждая статья проходит **проверку на антиплагиат и «слепое» рецензирование** ведущими экспертами по тематическим направлениям. Статья, не прошедшая антиплагиат, отклоняется. После доработки статьи авторам допускается повторное прохождение системы Антиплагиат с доплатой в размере 3000 тенге. Каждой статье присваивается DOI (ДОИ) – цифровой идентификатор объекта для уникальной и постоянной онлайн-идентификации содержания журнала и ссылок в интернете.

Статья должна носить авторский характер, т.е. принадлежать лично автору или группе авторов, причем количество последних не должно быть более пяти. В одном номере журнала может быть напечатано не более одной статьи одного автора.

Предпочтение отдается статьям, имеющим исследовательский характер и содержащим элементы научной новизны. Не допускается использование в статьях фрагментов текстов, рисунков или графиков из работ других авторов (или из Internet) без ссылки на них.

Для повышения рейтинга журнала и в рамках работы по его включению в международную базу данных Scopus планируется увеличение количества публикуемых статей на английском языке.

Обращаем Ваше внимание, что с 1 апреля 2025 г., в связи с повышением расходов на экспертизу, подготовку к печати и тиражирование журнала «Университет еңбектері – Труды университета», стоимость публикации статьи составляет 35 000 тг. (решение Правления НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» от 27.02.2025 г., протокол № 4).

При возврате денег за отклоняемую статью автору возвращается оплаченная денежная сумма за вычетом стоимости оказанных услуг.

Учитывая мультидисциплинарность журнала и возможности издательского оборудования Редакционным советом принято решение ограничить количество статей в номере журнала до 52. В исключительных случаях дополнительно по просьбе авторов возможна ускоренная публикация статьи с письменным обоснованием срочности публикации (защита докторской диссертации, получение ученого звания, грантовое финансирование и т.д.), если статья успешно прошла рецензирование с дополнительной оплатой в размере 20 000 тенге.

Редакция журнала обращает ваше внимание, что в случае отсутствия обратной связи (нет реакции на замечания рецензентов) больше 6 месяцев, Редакционный совет оставляет за собой право отказать в публикации статьи.

Просьба к авторам – не забывать логин и пароль, под которыми вы зарегистрированы на сайте журнала.

По всем интересующим вопросам звонить по телефону:

56-75-94 (внут. 1057) – ответственный секретарь.

Адрес Редакционно-издательского центра (РИЦ):

100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 60, IV корп., ауд. 208.

E-mail: rio@ktu.edu.kz

Тел.: 8-7212-56-75-94 + 1057

НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»

100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56

Тел.: 8-7212 (56-51-92), (56-88-95)

ИИК KZ638560000000147366

АО Банк ЦентрКредит

БИК KCJBKZKX

КБЕ 16

БИН 000240004524

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ 3

БУЗАУОВА Т.М., СМАИЛОВА Б.К., САРБАЕВ Д.А., МАТЕШОВ А.К., БЕЙБІТ Ш.Ғ. Қайта қалпына келтірілген ірі модульды дөңгелек тісінің профилін қадағалау 3

ТУЛЕПОВА М.А., КВОН С.С., КУЛИКОВ В.Ю., ОКИШЕВ К.Ю. ЧХ16 жоғары хромды шойынның микроқұрылымы мен трибологиялық қасиеттеріне ниобиймен, титанмен және ванадиймен кешенді легірлеудің әсері 10

АХМЕТОВ А.С., ТӨЛЕУҚАДЫР Р.Т., ЖУНУСОВ А.К., АЯГАНОВА Ж.Т., МАХАМБЕТОВ Е.Н. Феррохромды пайдалану арқылы коррозияға төзімді болаттың ұнтақ қоспасын дайындау 17

ЖУМАШЕВ К., БАЙСАНОВ А.С., КАТРЕНОВ Б.Б., ЖУМАГАЛИЕВ Е.У., ШАБАНОВ Е.Ж. Пыль от газоочистки производства феррохрома и пути ее утилизации 24

TANATOV A., OMAROV B., KUATOVA M., MENDES D.A.M., ABEKOVA A. A ROS 2 Based Modular Control Architecture Integrating Visual Servoing and Model Predictive Control for Robotic Marking 32

JASHIBEKOVA A., DOSPAYEV M., FIGURINENE I., KAKENOV K., YESSENBAYEVA G. Electrochemical Sulphidization of the Refractory Copper Mineral Malachite from the Composition of Oxidized Waste Ores of Zhezkazgan 39

РАЗДЕЛ 2. ГЕОТЕХНОЛОГИИ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ 46

САДВАКАСОВА Д.А., ЖҰМАҒАЛИЕВ А.М. Улучшение безопасности в строительстве с помощью IoT-технологий 46

БЕКМАГАМБЕТОВ А.Б., САТТАРОВА Г.С., РАХМЕТОВА А.М., НАСЫРОВА Г.А., ОМАРОВА А.Т. Исследование запыленности рабочей зоны при ведении открытых горных работ 53

МУРТАЗИНА Ф.Е., ЕФРЕМОВА С.С., ШМИДТ-ФЕДОТОВА И.М., БЕЛГІБАЕВ Қ.И. Радонометрические исследования Шубаркольского месторождения 60

ХАФИЗОВА В.В., КУДРЯВЦЕВ С.С., ДЕРБУШ С.Н., КИНАЯТОВ М.А., КОЗЛОВ В.Н. Анализ состояния производственного травматизма среди штатного и подрядного персонала металлургического предприятия 66

ЖАНДАУЛЕТОВА Ф.Р., ДЕМЕУОВ Б.М., МАНАНБАЕВА С.Е., ОВЧИННИКОВА Т.И. Анализ существующих методов и подходов в управлении водными ресурсами 73

ЕРМУХАНОВА Н.Б., СЫДЫКОВА Г.К., НУРЖАНОВА Д.Б., БИСЕНГАЛИЕВА А.М., АСАН Н.С. Электр энергетикасы кәсіпорындарындағы жарақаттану және адам факторының қауіпсіздігін талдау 80

АЛИЕВА Б.Б., КОЧЕРОВ Е.Н., РАМАТУЛЛАЕВА Л.И., МАМИТОВА А.Д., БЕГИМБЕТОВА А.С. Поликомпонентті сүзгі жүктемесінің ластаушы заттарды сіңіру көрсеткіштерін зерттеу 87

ХУАНГАН Н., АСАИНОВ С.Т., АЙТПАЕВА А.Р. Қазымдау аймағындағы қазу жұмыстарының жерүсті нысандарына әсерін болжау 95

ҚҰТТЫБАЕВ А.Е., КОЖАНТОВ А.У., СМИРНОВ А.Н., ЖИЕНБАЕВ А.Б., ҚУАНТАЕВ Н.Ә. Кешенді кен орындарын ашық тәсілмен игеру кезінде торлы-тораптық модельдеу 102

ПАК Д.Ю., ТОШОВ Ж.Б., ПАК Ю.Н., ИБРАГИМОВА Д.А., ТЕБАЕВА А.Ю. Көмірлер мен күлдердегі радиоактивті және сирек жер элементтерінің таралуының геохимиялық ерекшеліктері және олардың минералдық құрамдаспен байланысы 109

ИСАЕВА Л.Ж., ИСТЕКОВА С.А., ТОЛЫБАЕВА Д.Н., АБЛЕСЕНОВА З.Н., ТОҒЫЗОВ Қ.С.
Жезқазған кенді ауданындағы кешенді геофизикалық зерттеулердің геологиялық-геофизикалық негіздемесі 117

MUSTAFAYEVA M., MUSTAFAYEV Zh. Linear-correlation Model of Population Health (Based on the Example of the Kyzylorda Region of the Republic of Kazakhstan) 125

PONOMAREVA M., NANKOV S., PONOMAREVA Ye., BILIMOVA I. Analyzing the Capabilities of the Transient Process Method in Prospecting and Studying Groundwater 133

SADCHIKOV A., NEMOVA N., ISSINA N., SHULEPIN A., DZITIYEV A. Soil Heaving in Coal Mines: Causes and Mechanisms of Development 141

РАЗДЕЛ 3. СТРОИТЕЛЬСТВО. ТРАНСПОРТ 148

БАДАШВИЛИ К.Г., ШАХНОВИЧ А.Ю., КАБЖАН З.Е., ГЛЫЗНО Е.Д., УМИРЗАКОВА М.Г.
ЕСККС: структура, принципы работы и применение в рамках цифровой трансформации 148

САҚТАҒАНОВА Н.А., ҮДЕРБАЕВ С.С., БАЙКУНИРОВА А.С. Күріш қабығы күлін қосу арқылы механикалық белсендірілген құрғақ қоспаға негізделген автоклавты емес газдалған бетон технологиялары 156

НУГУЖИНОВ Ж.С., АХМЕДИЕВ С.К., МИХАЙЛОВ В.Ф., БЕКЕТОВА М.С., ХАБИДОЛДА О.
Ортотропия қасиеттері бар үшбұрышты пластиналардың орнықтылық мәселелері 163

ЖАПАХОВА А.У., БАЙТАСОВ К., КЕЛМАҒАМБЕТОВ Н.К., МҰСТАФА Ә.Н.,
СЕЙТМАҒАНБЕТ Н.С. Қызылорда қаласының климаттық жағдайында қоршау конструкциялары үшін тиімді жылытқыштарды таңдау 170

OMAROV Zh., TLEULENOVA G., MAKASHEV K., ZHUKENOVA G., ABDRAKHMANOVA K.
Structural Solution of Roofing Applying Sheet-plates 177

IMANOV M., KROPACHEV P., RAKHIMOVA G., RAKHTAYEV A., ZAKARIA R. Studying the Life Cycle Features of Curtain Wall Ventilated Facade Systems in Regional Conditions 185

ОРАЗАЛИНА А.Б., BARTOSZ W., БАТЫРБЕК М.Б., БАЛАБЕКОВА Қ.Г., МАУЛЕНОВА А.М.
Теміржол жолдарының жағдайын болжауға байланысты жол жөндейтін машиналар паркін оңтайландыру 192

КУНАЕВ В.А., БАТЫРБЕК Ә.Е., ТАВШАНОВ И.С., АХМЕТОВА Г.Е., ДЕРЕШЕВ А.В.
Микросилика құрамының байытылған қож қиыршық тас толтырғышы бар көлік магистральдарының асфальтбетон жабынының аязға төзімділігіне әсері 200

KUKESHEVA A., DARIBZHAN M., SAKHAPOV R., KADYROV A., KARSAKOVA A.
Development of a Methodology for Evaluating the Efficiency of Repair Intervals of Mining Equipment at KazMinerals Bozshakol 207

SAKHAPOV R. Analysis of the Results of Studies of Soil Destruction by Working Bodies of Earthmoving Machines in a Liquid Medium 214

РАЗДЕЛ 4. ПЕДАГОГИКА ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ. ЭКОНОМИКА 220

БАЙЖУМАНОВА Н.С., РАИМКУЛОВА А.С., СМИРНОВА Г.М. Білім беру кеңістігінде болашақ оқытушылардың өзін-өзі ұйымдастыру процесін жүзеге асыру тәсілдерін талдау 220

ЖАЛДЫБАЕВА А.Ж., КЕНЖЕБЕКОВА А.Е. ЖОО-ларда қазақ тілін жасанды интеллект арқылы оқыту 227

АУЕЗОВА А.Т., АБДУГАЛИНА С.Е., МЕЙРМАНОВ А.Б., САДЫКОВА Р.К., МАЙМУРУНОВА А.А.
Студенттердің жоғары оқу орнына бейімделуінің өзекті проблемалары 233

ИВАНОВА С.А., ДОКУЧАЕВА Н.В., ТЛЕУМБЕТОВА Д.Б., ГОЛОВАЧЁВА В.Н., МОСАВИ А.
Университеттің цифрлық экожүйесіндегі ашық білім беру тәжірибелері 239

TLEUGABULOVA K., NURLIGENOVA Z. Entrepreneurial University at XXI Century: Conception, Meaning, and Perspective of Development 246

SAGINTAEVA S., LAMBEKOVA A., SYZDYKOVA E., SHAKENOVA G. Demanded Competencies of Graduates: Challenges and Prospects for Regional Development (Based on Analysis Using MAXQDA) 253

KOSSYBAYEVA U., ISKAKOV S., SYZDYKOVA N., BEISENOVA D. Ways to Develop Communicative Skills Through ICT in Teaching Mathematics 260

SOVETKANOVA D., AMIRZHANOVA G. Digital Solutions in the Implementation of the Stackable Degree Model: Integrating Online Courses and Micro-qualifications in Master's Degrees 268

ISLAMGALIYEVA V., SAGIYEVA A., ABDIRGAZIYEVA A., MADIYEVA G. The Development of Transversal Competencies as a Factor in the Professional Mobility of Future Teachers of Philology 275

TULEBEKOVA A., KULISZ M. Pedagogical Foundations for Designing Digital Educational Tools in Engineering Education 282

АЙТМУКАНОВА Г.М. Система внутреннего государственного финансового контроля в Казахстане 289

ЛУСТОВ Н.С., АКЕНОВ С.Ш., МАГЗУМОВА Л.К., УРАЗБЕКОВ А.К. Влияние затрат перевозчиков и бюджетных субсидий на тарифную политику пассажирских перевозок общественного транспорта городов Астана и Алматы 298

РАХИМБЕРДИНОВА М.У., МАЗИНА А.К., ИСКАКОВА А.С., ОМАРОВА А.Т., ОМАРОВА М.Т. Өңірлік экономикалық дамудың қаржылық тұрақтылығын бағалауда факторлық талдауды қолдану: Қарағанды облысы деректері негізінде 305

RAKHYMZHANOVA G., ZHANAKOVA N. Assessment of the Impact of Consumer Lending on Household Income 314

АБДИКАРИМОВА А.М., КЕРНЕБАЕВ А.С., КОРОЛЕВА А.А., КОЧЕРБАЕВА А.А. Қазақстанға шетелдік дифференциалдық тарифтерді енгізу тәжірибесі 321

БАҒАЕВА Н.Ұ., СУЛЕЙМЕНОВА А.Ш. Қазақстан мен Өзбекстан: шекаралас аумақтардағы экономикалық ынтымақтастық 328

СЫРБЕК П.Н., БИМЕНДИЕВА Л.Ә., КОНДЫБАЕВА С.К., МУРАБИЛДАЕВА Р.А. Қазақстан Республикасындағы азық-түлік жүйесінің даму перспективалары 335

БАЙДАҚОВ А.К., БОДАУХАН Қ. Қазақстанның ауылшаруашылығындағы еңбек өнімділігі: құрылымдық мәселелер және тұрақты даму мүмкіндіктері 341

DARIBEKOVA A., DARIBEKOV S., DARIBEKOVA N., SAYFULLAEVA M., MINISHEVA A. Financing Small and Medium Business in the State 347

MAMRAYEVA D., TASHENOVA L., MUKANOV A., KALININA O. Analysis of the Current State of Industrial Production in the Republic of Kazakhstan 353

РАЗДЕЛ 5. АВТОМАТИКА. ЭНЕРГЕТИКА. ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 361

ЖОЛДАС Н.А., ТЮЛЕПБЕРДИНОВА Г.А., МАНСУРОВА М.Е., КУНЕЛБАЕВ М.М., АМИРХАНОВА Г.А. Машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану арқылы стрессті бағалау 361

СМАХАНОВА А.К., АБИЛЬДАЕВА Ж.Т., УСКЕНБАЕВА Р.К., СНО Young-Im, КАЛЬПЕЕВА Ж.Б. Қазақстан контекстіндегі цифрлық білім беру экожүйесі 368

МУТАЛОВА Ж.С., ШАУШЕНОВА А.Г., НУРПЕЙСОВА А.А., АЙНАГУЛОВА А.С., ОНГАРБАЕВА М.Б. Нейрондық желілер негізінде окклюзиялы бет-әлпетті тану әдістерін салыстырмалы талдау 374

ТОХМЕТОВА К.М., АҚҚАЗЫЕВ Б.М., СҮНДЕТ Г.Е., ЖУМАГУЛОВА Д.К., АЛПАНОВА Г.М. Индустрия 4.0 тұжырымдамасы шеңберінде мехатрондық жүйелерді оқытуда толықтырылған шындық (AR) технологияларын қолдану (Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті тәжірибесі негізінде) 381

СМАЙЛОВ Н.Қ., ТАШТАЙ Е., НУСУПОВ Е., КОМАДА П., БАЗАРБАЙ А.М. Заманауи навигациялық жүйелердегі талшықты-оптикалық гироскоптар 389

КОСЫМБАЕВ Р.Б., БУЛАТБАЕВА Ю.Ф., ЦЫПКИНА В.В., ИВАНОВА В.П., БУЛАТБАЕВ Ф.Н. Параллельді жұмыс режиміндегі сорғы агрегаттарының энергия тиімділігін генетикалық алгоритм арқылы арттыру 397

БАТЫРБЕК Ә.Е., СИВЯКОВА Г.А., СМАГУЛОВА К.К., СМАЙЛ А.А. Барабанды қайшының көп массалы электр механикалық бөлігін математикалық модельдеу 404

САХИЛАЕВА Д.Б., БАЙХОЖАЕВА Б.У., КОКАЕВ У.Ш., КИЛИБАЕВ Е.О., АХМЕТ А.Ә. Тоңазытқыш камераларды валидациялық сынау әдістерін талдау және олардың қиын жағдайларда жабдықтың тұрақты жұмысын қамтамасыз етудегі рөлі 411

АЛИЕВ А.К., ДЮСЕНОВ К.М., ЕРБАЕВ Е.Т., ЕРБАЕВА Н.Б., БУРАНОВА Н.Г. Обоснование использования интеллектуального управления в теплосетях 418

КОККОЗ М.М., КЛЮЕВА Е.Г., КАЛИЕВ Т.Н., ТАЙЛАҚ Б.Е. Методы защиты алгоритма ASCON от статистически неэффективных атак с ошибками на основе клеточных автоматов 425

ДРУЖИНИН В.М., ГРЕБЕННИКОВ Е.Ю. Особенности прогнозирования выработки электрической энергии солнечными электростанциями в Республике Казахстан 432

SUYMENBAYEVA Zh., KASSYM R., SERGAZIN G., BEIBIT Ye., KABI Ye. Research and Development of an Information System for Processing Data on the Orientation of Nanosatellites Based on Filtration Methods 439

ZHOLDANGAROVA G., KALIMOLDAYEV M., AKHMETZHANOV M., TEN T., TYO A. Diagnostics of Pumping Equipment Faults Using Machine Learning Methods Based on the Analysis of Energy and Water Consumption Data 446

BALKENOV A., YUN T., KHIZIROVA M., KASIMOV A., KARIBAEV B. Development of a Blockchain-Based Electronic Voting System 453

SALYKOVA O., ABUOV A., ISKAKOVA A., ARTYKBAEVA A. The Use of Neural Networks for Predicting Student Academic Performance in Higher Education 459

KIM G., SEMENYUK V., BIGOZHIN R., ALYOSHIN D., OSPANOVA G. Emotion Recognition Technologies Using Webcams: Approaches, Models and Their Applications 465

MUTANOV G., AMANZHOLOVA S., SHAYEA I., ALDASHEVA L., AMIROVA A. International Experience and Digital Platforms for the Examination of Scientific and Technical Projects: A Critical Review and Recommendations for Kazakhstan 471

KUATOVA A., NURMAGANBETOVA G., ORAZBEKOVA A., YURCHENKO A., MEKHTIEV A. Research on the Parameters of the Rotor Solar Installation Model 479

TURGANBAYEVA M., POPOV S., AITUOV A. Integrating CRM and CVM in Telecommunications: A Resource-Based View of Digital Targeted Marketing 486

YEZHEBAYEVA Sh., ZAHARUDDIN M., KHOMCHENKO V. Engineering of Non-Conventional Power Sources for Remote Monitoring Systems 493

ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ **501**

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ **502**

республикалық журналы

республиканский журнал

УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ • ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА
2026. №1. 507 с.

№ KZ63VPY00044097 қайта есепке алу куәлігі 2021 жылдың 15 желтоқсанында Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің жанындағы Ақпарат комитетімен берілген (алғашқы тіркеу куәлігінің № 1351-Ж 04 шілде 2000 жыл)

Свидетельство о перерегистрации № KZ63VPY00044097 от 15 декабря 2021 года выдано Комитетом информации при Министерстве информации и общественного развития Республики Казахстан (первоначальное регистрационное свидетельство № 1351-Ж от 04 июля 2000 года)

Редакторлар – Редакторы
Р.С. Искакова, К.К. Сагадиева
Компьютерлік ажарлау және беттеу – Компьютерный дизайн и верстка
М.М. Утебаев, У.Е. Алтайбаева
Халықаралық индекстеу жөніндегі маман – Специалист по международной индексации
Б.О. Бейсембаева

Жарыққа шыққан күні	19.03.2026	Дата выхода в свет
Пішімі	60×84/8	Формат
Көлемі, б.т.	63,5	Объем, п.л.
Таралымы	300	Тираж
Тапсырыс	21	Заказ
Индексі	74379	Индекс

Электронный сайт журнала: http://tu.kstu.kz/
E-mail редакции: rio@ktu.edu.kz
Отпечатано в типографии НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова».
Адрес типографии и редакции: 100027, г. Караганда, пр. Н. Назарбаева, 60.