

Жерасты қазбаларының тұрақтылығын арттыру және бекіту жүйелерін жетілдіру әдістері

¹**ЖУРОВ Виталий Владимирович**, т.ғ.к., доцент, zhurvityv@yandex.ru,

¹***АХМАТНУРОВ Денис Рамильевич**, PhD, зертхана меңгерушісі, d.akhmatnurov@gmail.com,

¹**ДЕМИН Владимир Федорович**, т.ғ.д., профессор, vladfdemin@mail.ru,

¹**ЗАМАЛИЕВ Наиль Мансурович**, PhD, доцент м.а., nailzamaliev@mail.ru,

¹**РАХМАТУЛЛАЕВ Рустам Рахимович**, магистрант, rus.rakhmatullayev@mail.ru,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Қазіргі заманғы көмір өнеркәсібі жер астындағы кен қазбаларының сенімділігі мен тиімділігін қамтамасыз етуге байланысты көптеген сын-қатерлерге тап болуда. Негізгі аспектілердің бірі – кен қазбаларын қоршайтын тау жыныстарының тұрақтылығы, өйткені олардың тұрақсыздығы айтарлықтай қаржылық шығындарға, өндіру қарқынының төмендеуіне және жұмысшылардың қауіпсіздігіне төнетін қатерлердің артуына әкелуі мүмкін. Бұл зерттеуде тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйін (ҚДК) жоғары дәлдікпен талдауға, оның құрылымындағы ықтимал өзгерістерді болжауға және оңтайлы бекіту жүйелерін әзірлеуге мүмкіндік беретін геомеханикалық модельдеу әдістері қарастырылады. Әр түрлі тау-геологиялық жағдайларда металл және анкерлік бекітулердің тиімділігіне салыстырмалы талдау жүргізілді. Жұмыста сандық модельдеу әдістері мен далалық сынақтар қолданылды, олар алынған деректердің сенімділігін растады. Зерттеу нәтижелері жер асты тау-кен жұмыстарын жүргізу технологияларын оңтайландыру және көмір өндіретін кәсіпорындардың қауіпсіздігін арттыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Кілт сөздер: кернеулі-деформацияланған күй, тау жыныстары массиві, жерасты қазбалары, бекітпе жүйелері, сандық модельдеу, металдоғалы бекітпелер, анкерлік бекітпелер, тау қысымы, көмір шахталары.

Кіріспе. Қазіргі заманғы көмір өнеркәсібі жер асты тау-кен қазбаларының сенімділігі мен тиімділігін қамтамасыз етумен байланысты көптеген қиындықтарға тап болуда. Өндіру көлемінің ұлғаюы және тау жыныстары массивінің тұрақтылығын сақтау қажеттілігі жобалау мен бекітудің инновациялық шешімдерін енгізуді талап етеді. Қазбаларды қоршаған тау жыныстарының тұрақсыздығы айтарлықтай қаржылық шығындарға, өндірістік процестердің баяулауына және жұмысшылардың қауіпсіздігіне төнетін қатердің артуына әкеледі. Геомеханикалық модельдеудің заманауи әдістерін қолдану тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйін (ҚДК) жоғары дәлдікпен талдауға, оның құрылымындағы ықтимал өзгерістерді болжауға және бекітудің оңтайлы тәсілдерін әзірлеуге мүмкіндік береді. Бұл зерттеу «Qarmet» АҚ шахталарындағы

геологиялық жағдайлардың ерекшеліктерін ескере отырып, жер асты қазбаларының тұрақтылығын арттыру технологияларын жетілдіруге бағытталған.

Тау жыныстары массивтерінің кернеулі-деформацияланған күйін модельдеудің әртүрлі әдістері қазбалардың тұрақтылығына әсер ететін факторларды неғұрлым дәл бағалауға мүмкіндік береді. Тау жыныстарының құрылымдық ерекшеліктері мен физикалық қасиеттерін ескеру массивтің өзгеруін болжау мен инженерлік шешімдерді қабылдауда маңызды рөл атқарады [1].

Математикалық модельдеу әртүрлі еңіс бұрыштары бар кен орындарын игеру кезінде пайда болатын геомеханикалық процестерді бағалауға мүмкіндік береді. Сандық әдістерді қолдану бекітудің оңтайлы параметрлерін анықтауға ықпал етіп, жер асты жұмыстарын жүргізудің қауіпсіздік деңгейін

арттырады [2].

Жер асты қазбаларын бекіту саласындағы қазіргі зерттеулер тік оқпандарды жобалау, тиісті жабдық пен құрылыс әдістерін таңдауды қоса алғанда, технологиялардың кең спектрін қамтиды. Бұл процестерде тау жыныстары механикасы маңызды рөл атқарады, өйткені оның нақты талдауы бекітудің сенімділігі мен беріктігіне тікелей әсер етеді [3].

Осылайша, геомеханикалық модельдеудің заманауи әдістерін қолдану және тау жыныстары массивтерінің қалыптасу ерекшеліктерін ескеру жер асты тау-кен өндіру үшін тиімді және қауіпсіз технологияларды әзірлеудің негізгі элементтері болып табылады. Бұл зерттеу тау жыныстарының кернеулі-деформацияланған күйін терең талдауға және күрделі геологиялық факторлар жағдайында бекіту жүйелерін оңтайландыруға бағытталған.

Зерттеу әдістері. Бұл зерттеуде жер асты қазбаларын қоршаған тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйін (ҚДК) зерттеу үшін жетілдірілген сандық модельдеу бағдарламалық жасақтамасы қолданылды. Модельдерде негізгі параметрлер, соның ішінде төбе жыныстарының қалыңдығы, жыныс қабаттарының құрамы және кернеу концентрациясының аймақтары қарастырылды. Әртүрлі тау-кен жағдайларында металдоғалы және анкерлік бекітпелердің тиімділігі салыстырмалы түрде зерттелді. Сонымен қатар, анкер ұзындығының (1,8-2,4 м) және диаметрінің (0,02-0,024 м) кернеулердің таралуына әсері жан-жақты талданды.

Алынған нәтижелердің дұрыстығын тексеру мақсатында нақты шахта жағдайларында далалық зерттеулер жүргізілді. Өлшеу нәтижелері модельдеу деректерімен салыстырылып, олардың үйлесімділігі бағаланды. Осындай әдісті Иванов [4] та қолданып, тау жыныстарының динамикалық жүктеме кезіндегі мінез-құлқын зерттеген. Ол сандық модельдеуді нақты бақылау мәліметтерімен біріктіріп, геомеханикалық есептеулердің дәлдігін арттыруға бағытталған.

Зайцевтің [5] зерттеулері де ҚДК модельдеу әдістерін жетілдіруге елеулі үлес қосты. Оның жұмысы теориялық және эмпирикалық мәліметтердің сәйкестігін қамтамасыз етудің бекіту жүйелерін оңтайлы жобалаудағы маңыздылығын атап өтті. Ол тау жыныстары массивінің кернеу жағдайын болжауда және бекітпе құрылымдарын жетілдіруде сандық модельдеудің шешуші рөлін растады.

Өндірістік сынақтармен үйлестірілген кешенді модельдеу әдісі кернеулердің таралуын және бекітпе жүйелерінің тиімділігін тереңірек талдауға мүмкіндік береді. Бұл

тау-кен өндірісіндегі қауіпсіздікті арттырып, ресурстарды тиімді басқаруға жағдай жасайды.

Шахта қазбаларының тұрақтылығы – геологиялық, механикалық және технологиялық аспектілерді қамтитын күрделі мәселе. Кен қазбасын қоршаған тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйі (ҚДК) тау-кен жұмыстарының тереңдігіне, жыныстардың физикалық-механикалық қасиеттеріне және бекітпенің құрылымдық ерекшеліктеріне тәуелді. Кернеулі-деформацияланған күй теориясы пластикалық деформация аймақтарын және жыныстардың бұзылу үрдістерін талдауға мүмкіндік береді, бұл тау-кен жағдайларына бейімделген бекітпе жүйелерін әзірлеу үшін негіз болып табылады. Қазіргі заманғы есептеу технологиялары тау жыныстарының құрылымдық өзгерістерін дәл модельдеуге мүмкіндік береді, бұл кен қазбаларының сенімділігін арттыруға жағдай жасайды.

«Qarmet» АҚ шахталарында бір уақытта бірнеше өндірістік учаске жұмыс істейтіндіктен, көмір өндіру көлемін арттыру үшін тазарту забойларын жедел және сапалы дайындау маңызды рөл атқарады. Дайындық процестеріндегі кешігулер жөндеу шығындарының көбеюіне және өндірістік циклдердің баяулауына әкеледі. Қазіргі уақытта қолданылатын металдоғалы бекітпелердің құны жоғары, әрі олар технологиялық тұрғыдан тиімсіз, бұл кен қазбаларын жүргізу жылдамдығы мен жұмыс жағдайларына теріс әсер етеді. Мұндай қиындықтар қоршаған тау жыныстарының мінез-құлқын жеткіліксіз зерттеумен, сондай-ақ бекітпе жүйелерінің конструкциялық кемшіліктерімен және олардың орнату технологияларының жетілмегендігімен байланысты.

Жерасты көмір өндірудің тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін дайындық және бекіту жұмыстарының тиімді технологияларын енгізу қажет. Осы зерттеудің мақсаты – тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйінің өзгеру заңдылықтарын талдау негізінде қауіпсіз және қарқынды шахта қазбаларын жүргізу әдістерін әзірлеу. Дайындық жұмыстарының технологиялық схемаларын оңтайландыру жерасты көмір өндірудің өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Негізгі идея – бекітпе жүйелерін жобалау кезінде тау жыныстары массивіндегі кернеулі аймақтардың ерекшеліктерін есепке алу.

Кері желдету жүйесі қолданылатын тазарту қазбаларында тау жыныстарының қысымдық әсері байқалады (1-сурет).

Барлық бағыттар бойынша көлденең ығысу (U_x) 0,35 м шамасында, бұл анкерлік бекітпелердің қазбаға түсетін жүктемені



1-сурет – Ұзынжолқты қазба әдісімен қайтармалы желдету жүйесі қолданылған жағдайда желдеткіш қазбасында тау қысымының байқалуы (конвейерлік қазбаның көлденең қимасы)

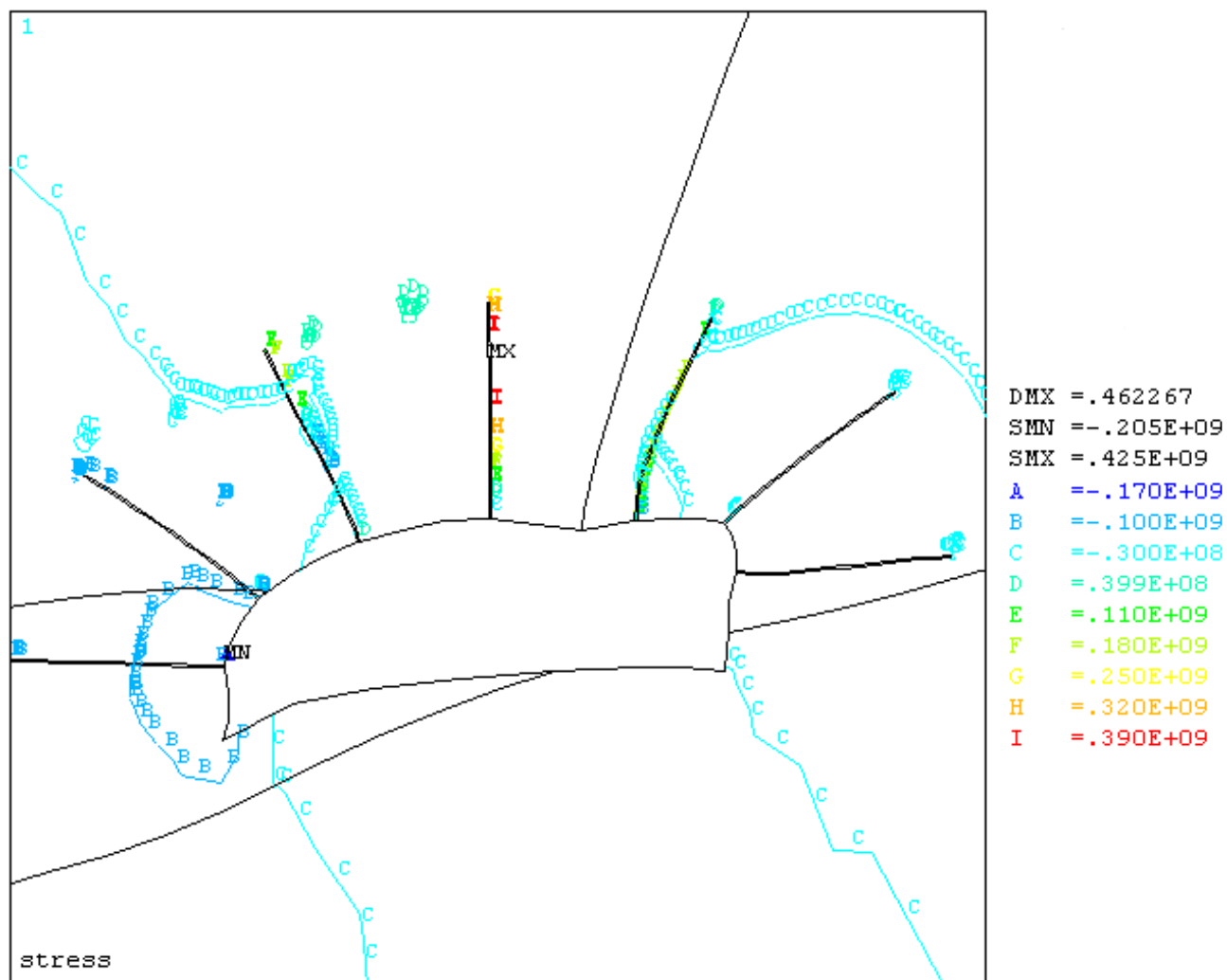
толықтай ұстап тұра алмайтынын және қосымша нығайту шараларын қажет ететінін көрсетеді. Конвейерлік қазба анкерлік бекітпемен күшейтілген жағдайда, тазарту забойына дейін тұрақтылығын сақтайды, ал төбе жыныстарында 5 МПа созылу кернеуі, ал қазба жақтарында 50 МПа дейін қысу кернеуі байқалады.

Төбе жыныстарының қалыңдығы металдоғалы және анкерлік бекітпелердің жұмыс тиімділігіне әсер етеді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, төбе жыныстарының қалыңдығы артқан сайын, кернеулердің өсу қарқыны төмен болады. Барлық бекітпе түрлерінде тау жыныстарының бақылау қабілеті жақсарған сайын кернеулердің сызықты өсуі байқалады. Тік кернеулер екі бекітпе түрінде де шамалы өзгеріп, бірдей деңгейде сақталады. Бойлық кернеулер металдоғалы бекітпелерде анкерлік бекітпелерге қарағанда екі есе төмен, ал жанама кернеулер керісінше, төрт есе жоғары болып келеді. Металдоғалы бекітпелер үшін жанама кернеулердің мәндері жоғары (120-140 Па), ал анкерлік

бекітпелерде бойлық кернеулер басым (60-70 Па). Қосымша кернеулер екі бекітпе түрінде де 30-40 Па диапазонында сақталады, ал қалыпты кернеулер ең төменгі мәндерде (3-10 Па) тіркеледі (2-сурет).

Тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйін модельдеу барысында анкерлік бекітпелердің ұзындығы мен диаметрінің әсері зерттелді. Анкер ұзындығы (1,8-2,4 м аралығында) жанама кернеулерге айтарлықтай әсер етпей, тек тік және бойлық кернеулердің біршама артуына әкеледі. Анкер диаметрін (0,02-0,024 м) өзгертенде, тік және бойлық кернеулер артып, жанама кернеулер төмендейтіні анықталды, бұл олардың сызықты тәуелділігін көрсетеді. Есептеу нәтижелері көрсеткендей, анкер ұзындығы (1,8-2,2 м) мен диаметрі (0,02-0,024 м) ұлғайған жағдайда бойлық кернеулер (55-60 Па) артады. Сонымен қатар, жанама кернеулер (25 Па) өзгеріссіз қалады, ал қалыпты кернеулер 5-тен 10 Па-ға дейін сызықты өсу үрдісін көрсетеді.

Жүргізілген зерттеулер тау жыныста-

2-сурет – Желдеткіш ағынында тау қысымының көрінісі (σ_y)

ры массивінің кернеулі-деформацияланған күйінің өзгеру заңдылықтарын және оларды металдоғалы және анкерлік бекітпелерді қолдану тиімділігіне әсерін анықтауға мүмкіндік берді. Негізгі тау-кен геологиялық және тау-кен техникалық факторларға байланысты көмірлі жыныстар массивіндегі кернеулер мен деформациялардың өзгеру үрдістері анықталды, бұл нақты жұмыс жағдайларына сай бекітпе параметрлерін таңдауға мүмкіндік береді. Бұл зерттеу еңіс және көлбеу көмір қабаттарында қауіпсіз әрі тиімді кен қазбаларын жүргізуге арналған жаңа технологияларды әзірлеуге және қолданыстағы әдістерді жетілдіруге негіз болады. Өнеркәсіптік сынақтармен салыстырғанда алынған нәтижелер тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйінің параметрлерімен жақсы сәйкестік көрсеткенін дәлелдеді, бұл зерттеу қорытындыларының сенімділігін растайды.

Зерттеу нәтижелері. Зерттеу барысын-

да шахта қазбаларындағы тау жыныстарының мінез-құлқы туралы маңызды мәліметтер алынды:

Продольды кернеулер анкерлердің ұзындығы мен диаметрі артқан сайын өсіп, бекітпенің жүктемеге төзімділігін жақсартады. Алайда, анкер параметрлерін шамадан тыс ұлғайту оның тиімділігін едәуір арттырмайды. Осы заңдылықты Кайсер және Таннант [6] зерттеулерінде де атап өткен – анкер өлшемдерін үлкейту кернеулерге төзімділікті арттырғанымен, оның тиімділігінің шегі бар.

Жанама кернеулер анкер ұзындығына айтарлықтай тәуелді емес, бірақ оның диаметрі артқан кезде аздап төмендейді. Бұл анкердің геометриялық пішінінің тау жыныстарындағы кернеу таралуына жанама әсер ететінін көрсетеді. Бұл тұжырым Жанг [7] зерттеуінде де расталған, ол анкердің формасы мен өлшемдерінің жерасты қазбаларындағы кернеулерді қайта бөлуге әсерін қарастырған.

Тік кернеулер төбе жыныстарының қалыңдығына байланысты орташа деңгейде өседі, өйткені төбе қабаты жүктемені таратуға және кернеу концентрациясының аймағын қалыптастыруға ықпал етеді. Жанг және авторлар [8] да өз еңбектерінде төбе жыныстарының қалыңдығы бекітпе жүйесін жобалауда шешуші рөл атқаратынын атап өткен.

Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері көрсеткендей, металдоғалы бекітпелер жанама кернеулерге жақсы төзімділік көрсетсе, ал анкерлік бекітпелер продольды кернеулерді тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Бұл әртүрлі геологиялық жағдайларға сәйкес бекітпе жүйесін оңтайлы таңдауға көмектеседі. Мұндай тәсіл Ли және авторлар [9] еңбектерінде де расталған, олар әртүрлі бекітпе жүйелерінің әртүрлі жүктеме түрлеріне қалай әсер ететінін зерттеген.

Өндірістік сынақтар есептеу модельдерінің дұрыстығын растады: нақты кен орындарында алынған өлшеу деректері модельдеудің болжамдарымен сәйкес келді. Жанг және авторлар [6] жүргізген зерттеулерде де ұқсас әдістер қолданылып, олар жерасты кен қазбаларында кернеу таралуын болжау және бекітпе жүйелерін оңтайландыру үшін сандық модельдеудің тиімділігін дәлелдеді.

Қорытынды. Бұл зерттеу көмір шахталарында жер асты жұмыстарын қауіпсіз әрі тиімді жүргізу үшін тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйін (КДК) зерттеудің және басқарудың маңыздылығын айқындайды. Сандық модельдеу әдістері мен далалық сынақтар нәтижелерін біріктіру арқылы тау жыныстарының бекіту жү-

йелерімен өзара әрекеттесу ерекшеліктері анықталды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, анкерлік бекітпелердің ұзындығы мен диаметрі бойлық және тік кернеулердің таралуына айтарлықтай әсер етеді, ал жанама кернеулерге ықпалы аз. Сонымен қатар, металдоғалы бекітпелер жанама кернеулерге жоғары қарсылық көрсетсе, анкерлік бекітпелер бойлық жүктемелерді тиімді ұстап тұрады.

Зерттеу нәтижелері тау жыныстары массивінің тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін бекіту параметрлерін нақты геологиялық және техникалық жағдайларға бейімдеу қажеттілігін көрсетеді. Бұл тәсіл әртүрлі кен орындарында бекіту технологияларын жетілдіруге мүмкіндік беріп, өндірістің сенімділігі мен тиімділігін арттырады.

Осылайша, жүргізілген зерттеу жерасты көмір өндіру саласын дамытуға маңызды үлес қосып, бекіту жүйелерін оңтайландыруға арналған практикалық шешімдер ұсынады. Алынған нәтижелер тау-кен өндірісінің қауіпсіздігін арттыруға, өнімділікті жоғарылатуға және өндірістік тәуекелдерді азайтуға ықпал етеді.

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің бағдарламалық-нысаналы қаржыландыруы аясында IRN BR24992803 «Қоршаушы тау жыныстары массивінің антропогендік күйіне әсер ету негізінде ұтымды тау-кен өндіру технологиясын әзірлеу» ғылыми және ғылыми-техникалық бағдарламасын іске асыру шеңберінде қаржыландырылды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Протосеня А.Г., Беляков Н.А., Буслова М.А. Рудалы кен орындарының блоктық тау жыныстары массивтерінің деформацияланған кернеу күйін құлау әдістерін қолдана отырып модельдеу. Тау-кен институтының журналы. – 2023. – 262-том, 187-195 беттер.
2. Господариков А.П., Зацепин М.А. Жазық кен орындарын өңдеу кезінде тау жыныстары массивтерінің деформацияланған кернеу күйін математикалық модельдеу. Тау-кен институтының журналы. – 2010. – 187-том, 88-92 беттер.
3. Шахталар мен карьерлердегі тау-кен қазбаларын бекіту: Оқу құралы, редакциясын басқарған В.А. Кузнецов. – Пермь: Пермь ұлттық зерттеу политехникалық университеті, 2016. – 120 бет. (жарияланған тіл: орысша)
4. Иванов О.С. Тау-кен жұмыстарында геомеханиканы қолдану. Ресей ғылым академиясының Сібір бөлімшесі, Новосибирск. – 2019. – 210-250 беттер.
5. Зайцев Н.П. Тау-кен қазбаларын бекіту технологиялары және геомеханика. Урал университеті, Екатеринбург. – 2017. – 170-190 беттер.
6. Кайзер П.К., Таннант Д.Д. Жерасты құрылысы үшін геомеханика. Инженерлік геомеханика, Торонто. – 2017. – 220-260 беттер.

7. Чжан М. Тау-кен жұмыстарының геомеханикасы. Ғылыми-техникалық баспа, Пекин. – 2017. – 101-140 беттер.
8. Чжан Л., Ли Х., Чэнь Х. Тау жыныстары механикасы және геотехникалық инженерия. Элзевир, Амстердам. – 2019. – 200-240 беттер.
9. Ли Х., Ли У., Ким С. Жерасты тау-кен жұмыстарында бекіту жүйелерінің тиімділігін бағалау: сандық және далалық сынақ әдісі. Тау жыныстары механикасы және геотехникалық инженерия журналы. – 2018. – 10-том, 377-386 беттер.

Повышение устойчивости подземных выработок и совершенствование систем крепления

¹**ЖУРОВ Виталий Владимирович**, к.т.н., доцент, zhurvitv@yandex.ru,

¹***АХМАТНУРОВ Денис Рамильевич**, PhD, зав. лабораторией, d.akhmatnurov@gmail.com,

¹**ДЕМИН Владимир Федорович**, д.т.н., профессор, vladfdemin@mail.ru,

¹**ЗАМАЛИЕВ Наиль Мансурович**, PhD, и.о. доцента, nailzamaliev@mail.ru,

¹**РАХМАТУЛЛАЕВ Рустам Рахимович**, магистрант, rus.rakhmatullayev@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Современная угольная промышленность сталкивается с множеством вызовов, связанных с обеспечением надежности и эффективности подземных выработок. Одним из ключевых аспектов является устойчивость горных пород, окружающих выработки, так как их нестабильность может привести к значительным финансовым потерям, снижению темпов добычи и повышению рисков для безопасности работников. В данном исследовании рассматриваются методы геомеханического моделирования, позволяющие с высокой точностью анализировать напряженно-деформированное состояние массива горных пород (НДС), прогнозировать возможные изменения его структуры и разрабатывать оптимальные системы крепления. Проведен сравнительный анализ эффективности металлических и анкерных креплений в различных горно-геологических условиях. В ходе работы использованы численные методы моделирования и полевые испытания, которые подтвердили надежность полученных данных. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации технологий ведения подземных горных работ и повышения безопасности угледобывающих предприятий.

Ключевые слова: подземные выработки, устойчивость горных пород, напряженно-деформированное состояние, геомеханическое моделирование, системы крепления, анкерная крепь, металлическая крепь, оптимизация, безопасность шахт.

Enhancing the Stability of Underground Excavations and Improving Support Systems

¹**ZHUROV Vitaly**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, zhurvitv@yandex.ru,

¹***AKHMATNUROV Denis**, PhD, Head of Laboratory, d.akhmatnurov@gmail.com,

¹**DEMIN Vladimir**, Dr. of Tech. Sci., Professor, vladfdemin@mail.ru,

¹**ZAMALIYEV Nail**, PhD, Acting Associate Professor, nailzamaliev@mail.ru,

¹**RAKHMATULLAEV Rustam**, Master's Student, rus.rakhmatullayev@mail.ru,

¹NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», N. Nazarbayev Avenue, 56,
Karaganda, Kazakhstan,

*corresponding author.

Abstract. The modern coal industry faces numerous challenges related to ensuring the reliability and efficiency of underground excavations. One of the key aspects is the stability of the surrounding rock mass, as its instability can lead to significant financial losses, reduced

extraction rates, and increased risks to worker safety. This study examines geomechanical modeling methods that enable high-precision analysis of the stress-strain state (SSS) of rock masses, predicting potential structural changes, and developing optimal support systems. A comparative analysis of the efficiency of metal and anchor support systems under various mining and geological conditions was conducted. The research utilized numerical modeling methods and field tests, confirming the reliability of the obtained data. The findings of this study can be applied to optimize underground mining technologies and improve the safety of coal mining operations.

Keywords: *underground excavations, rock mass stability, stress-strain state, geomechanical modeling, support systems, anchor support, metal support, optimization, mine safety.*

REFERENCES

1. Protosenya, A. G., Belyakov, N. A., Buslova, M. A. Modeling the Stress-Strain State of Block Rock Masses of Ore Deposits Using Caving Mining Methods. Journal of Mining Institute. – 2023. – Vol. 262, pp. 187-195.
2. Gospodarikov, A. P., Zatsepin, M. A. Mathematical Modeling of the Stress-Strain State of Rock Masses during Shallow-Angle Deposit Development. Journal of Mining Institute. – 2010. – Vol. 187, pp. 88-92.
3. Mine Support for Underground Workings in Mines and Quarries: A Textbook, edited by V. A. Kuznetsov. – Perm: Perm National Research Polytechnic University, 2016. – 120 pages.
4. Ivanov, O. S. Application of Geomechanics in Mining Operations. Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk. – 2019. – pp. 210-250.
5. Zaitsev, N. P. Technologies of Mining Fastening and Geomechanics. Ural University, Yekaterinburg. – 2017. – pp. 170-190.
6. Kaiser, P. K., Tannant, D. D. Geomechanics for Underground Construction. Engineering Geomechanics, Toronto. – 2017. – pp. 220-260.
7. Zhang, M. Geomechanics of Mining Operations. Scientific and Technical Publishing House, Beijing. – 2017. – pp. 101-140.
8. Zhang, L., Li, H., Chen, H. Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. Elsevier, Amsterdam. – 2019. – pp. 200-240.
9. Lee, H., Lee, Y., Kim, S. Evaluation of Support System Effectiveness in Underground Mining: Numerical and Field Testing Approach. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2018. – Vol. 10, pp. 377-386.