

**УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ**  
**ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА**

✻ 4 (41)  
2010

---

2000 жылдан бастап шығарылады  
Мерзімділігі жылына 4 рет

Издается с 2000 года  
Периодичность 4 раза в год

---

*Журнал Қазақстан Республикасының Мәдениет, ақпарат және қоғамдық келісім министрлігінде тіркелген (тіркеу куәлігі № 1351-ж 04.07.2000 ж.)*

*Журнал зарегистрирован в Министерстве культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан (регистрационное свидетельство № 1351-ж от 04.07.2000 г.)*

**МЕНШІК ИЕСІ**

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің «Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті» Республикалық мемлекеттік қазыналық кәсіпорны (Қарағанды қаласы)

**СОБСТВЕННИК**

Республиканское государственное казенное предприятие «Карагандинский государственный технический университет» Министерства образования и науки Республики Казахстан (г. Караганда)

Главный редактор

**А.М. Газалиев**

ректор, академик НАН РК, д-р хим. наук, профессор

## Редакционный совет

Газалиев А.М.

*ректор, академик НАН РК, д-р хим. наук, проф. (председатель)*

**Акимбеков А.К.**

*профессор кафедры рудничной аэрологии и охраны труда, д-р техн. наук*

**Ахметжанов Б.А.**

*зав. кафедрой экономики предприятия, академик МЭАЕ, д-р экон. наук, проф.*

**Байджанов Д.О.**

*профессор кафедры технологии строительных материалов и изделий, академик МАИН, д-р техн. наук, проф.*

**Бакиров Ж.Б.**

*зав. кафедрой механики, д-р техн. наук, проф.*

**Брейдо И.В.**

*зав. кафедрой автоматизации производственных процессов, академик МАИН, чл.-кор. КНАЕН, д-р техн. наук, проф.*

**Ермолов П.В.**

*зав. лабораторией ИПКОН, академик НАН РК, д-р геол.-минер. наук, проф.*

**Жумасултанов А.Ж.**

*профессор кафедры социально-гуманитарных дисциплин, д-р ист. наук*

**Исагулов А.З.**

*первый проректор, академик МАИН, академик КНАЕН, д-р техн. наук, проф. (ответственный за выпуск)*

**Климов Ю.И.**

*профессор кафедры систем автоматизированного проектирования, академик МАИН, академик КНАЕН, д-р техн. наук, проф.*

**Колесникова Л.И.**

*доцент кафедры экономической теории, канд. экон. наук*

**Малыбаев С.К.**

*профессор кафедры промышленного транспорта, д-р техн. наук, проф.*

**Низаметдинов Ф.К.**

*зав. кафедрой маркшейдерского дела и геодезии, академик КНАЕН, д-р техн. наук, проф.*

**Нургужин М.Р.**

*зам. председателя правления АО «Национальный научно-технологический холдинг «Самгау»», академик МАИН, чл.-кор. АН ВШК, д-р техн. наук, проф.*

**Пак Ю.Н.**

*руководитель группы ГОС, академик КНАЕН, д-р техн. наук, проф.*

**Пивень Г.Г.**

*почетный ректор, академик МАН ВШ, академик АЕН РК, д-р техн. наук, проф.*

**Портнов В.С.**

*директор Департамента организации учебного процесса, академик МАИН, д-р техн. наук, проф.*

**Смирнов Ю.М.**

*зав. кафедрой физики, академик МАИН, д-р техн. наук, проф.*

**Тутанов С.К.**

*зав. кафедрой высшей математики, академик МАИН, д-р техн. наук, проф.*

**Фешин Б.Н.**

*профессор кафедры автоматизации производственных процессов, академик МАИН, д-р техн. наук, проф. (ответственный секретарь)*

**Швоев В.Ф.**

*директор Департамента по развитию Болонского процесса, канд. техн. наук, доц.*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>РАЗДЕЛ 1. МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ</b> .....	5
СУЮНДИКОВ М.М. Металл балқымасын сүзгілеп тазарту үрдісінің гидравликалық көрсеткіштері.....	5
МУХАМБЕТГАЛИЕВ Е.К., БАЙСАНОВ С.О., ЧЕКІМБАЕВ А.Ф., БАЙСАНОВ А.С. Возможность и перспективы получения нового комплексного ферросплава – алюмосиликомарганца.....	8
САПИНА В.А., БАЙСАНОВ С.О., БАЙСАНОВ А.С., ШАБАНОВ Е.Ж. Расчёт термодинамических данных соединений $BaSi_2$ , $Mn_{11}Si_{19}$ , $Fe_2Si$ в системе Ba-Si-Mn-Fe для прогнозирования процесса получения силикомарганца, легированного барием .....	11
ИСАГУЛОВ А.З., ШАРАЯ О.А., САДВАКАСОВ А.М. Механизмы релаксационных процессов в стеклопластиках.....	14
СИХИМБАЕВ М.Р. Управление точностью формы и расположения отверстий с учетом текущего радиуса обработки.....	16
НАЙЗАБЕКОВ А.Б., ТАПМАЗАН В.А., КЛЕМЕНТЬЕВ В.А., АХМЕТГАЛИНА Н.В. Исследование надёжности оборудования НШПС-1700.....	18
СУЛЕЙМЕНОВ Т., ИСАГУЛОВ А.З., КАСЫМОВА Л.Ж., ШАИХОВА Г.С., АБИЛЬГАЗИН Б.И. О характере корреляционных функций жидкостей .....	21
НУРМУХАМЕТОВ Н.Н. Классификация показателей конкурентоспособности продукции предприятий машиностроительной отрасли Республики Казахстан .....	23
ЖЕТЕСОВА Г.С., БУЗАУОВА Т.М. Экспериментальные исследования износа эксцентрика.....	25
<b>РАЗДЕЛ 2. ГЕОТЕХНОЛОГИИ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.</b> .....	28
СӘБДЕНБЕКҰЛЫ Ө., ТАХАНОВ Д.К., ҚОЖАС А.К., ЖУНУСОВА Г.Е., ҚАПАСОВА А.З. Кені алынған кеңістіктегі төбекентірекке келетін бүйір қысымның шамасын анықтау.....	28
ДЕМИН В.Ф., ИСАБЕК Т.К., ДЕМИНА Т.В., БАЙМУЛЬДИН М.М. Разработка прогрессивных технологических схем проведения подготовительных выработок с анкерным креплением .....	30
ГАЛЕМСКИЙ П.В., КАНИН В.А. Применение десорбометрии при контроле эффективности защитного действия.....	34
КАНИН В.А., ТАРАНИК А.А., БРЮМ В.З. Геохимический подход к проблеме прогнозирования аварийных ситуаций по газовому фактору.....	36
ГЛУХОВ А.А., КЕНЖИН Б.М., КОМПАНЕЦ А.И. Влияние параметров тектонических нарушений на характеристики сейсмических волновых полей при использовании метода отраженных волн в шахтной сейсморазведке.....	38
ЖАУТИКОВ Б.А., МЕХТИЕВ А.Д., СУЛТАНБЕКОВ Т.Е. Исследование спектра вибраций механической части горно-добывающих комплексов и экскаваторов .....	41
НИЗАМЕТДИНОВ Ф.К., УРДУБАЕВ Р.А., АНАНИН А.И., ОЖИГИНА С.Б. Методика оценки состояния и районирования бортов глубоких карьеров по фактору устойчивости .....	44
ОЖИГИНА С.Б. Методика оценки устойчивости карьерных откосов с учетом погрешности определения прочностных свойств массива .....	47
ТИЛЕУХАН Н., ИСАБЕК Т.К., БЕССОНОВ В.В., СУДАРИКОВ А.Е., НУРМАГАМБЕТОВА А.С. Способы снижения разубоживания руды .....	51
<b>РАЗДЕЛ 3. АВТОМАТИКА. ЭНЕРГЕТИКА. УПРАВЛЕНИЕ</b> .....	54
СУЛЕЙМЕНОВА Л.К., ЯВОРСКИЙ В.В. Задачи формирования моделей определения и реализации транспортной потребности населения города .....	54
ЛИСИЦЫН Д.В. Компьютерное моделирование многодвигательного электропривода механизма поворота одноковшовых экскаваторов с уточненной механической частью .....	57
ПАРШИНА Г.И. Алгоритмы и принципы построения автоматизированной системы поддержки работоспособности электротехнических комплексов очистных участков угольных шахт .....	61
БРЕЙДО И.В., СМАГУЛОВА К.К., ИСКАКОВ У.К. Методы адаптации параметров аппарата защиты от токов утечки в условиях колебания напряжения.....	63

КРИЦКИЙ А.Б., ФЕШИН Б.Н. Супервизорное управление электротехническими комплексами систем теплоснабжения мегаполисов .....	66
ШПАКОВА Л.Г. Реализация системы управления координированием манипулятора методами fuzzy-логики .....	70
БРЕЙДО И.В., СИЧКАРЕНКО А.В., ШПАКОВ М.А. Подсистема обработки и хранения информации в системе пред- и поставарийного контроля состояния электрооборудования и технологической среды.....	73
<b>НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ</b> .....	<b>76</b>
ПАРШИНА Г.И., ФЕШИН Б.Н. Алгоритмы оценки качества знаний сотрудников электротехнических служб угольных шахт .....	76
КРИЦКИЙ А.Б. Система управления частотно-регулируемых электроприводов в многоагрегатной насосной станции.....	78
САТЫБАЛДИНА Д.Ж. Анализ уязвимостей информационных систем .....	80
СМАГУЛОВА К.К. Модель аппарата защиты от токов утечки в сетях постоянного тока.....	83
СИХИМБАЕВ М.Р. Автоматическое управление точностью обработки отверстий .....	84
<b>ХРОНИКА</b> В память об Ученом и Учителе – Акимбекове Азимбеке Кыздарбековиче .....	<b>87</b>
<b>РЕЗЮМЕ</b> .....	<b>88</b>
<b>Правила оформления и представления статей</b> .....	<b>97</b>

ӘОЖ 621.756.03  
СУЮНДИКОВ М.М.

### Металл балқымасын сүзгілеп тазарту үрдісінің гидравликалық көрсеткіштері

Ғылыми әдістемелік тұрғысынан қарағанда араласқан бөтен түйіршіктері бар сұйықты сүзгілеп тазарту үрдісін сипаттайтын көрсеткіштердің ішінде оның гидравликалық жағын бөліп жеке қарастырудың маңызы ерекше. Сүзгілеу үрдісінің негізінде кеуекті дененің ішімен сүзіліп ағу (филтрация) үрдісі жатқаны белгілі. Құйма бөлшектер жасау өндірісінде құю жүйесінің арнасына орнатылатын сүзгі сұйық металл ағынын тежеу арқылы құю режимін бұзу қауіпін тудырып, іске жарамды құйма алудың өзін екіталай мәселеге айналдырады. Осыдан сүзгілеу үрдісінің жылдамдығы  $\mathcal{G}_C$  өзінің маңыздылығы бойынша бірінші орынға шығып отырған көрсеткіш екенін көреміз.

Сүзгілеу жылдамдығы екі түрлі әрекетімен маңызды болады. Біріншіден, сүзгілеу жылдамдығының сүзгінің металл емес кірінділерді ұстау үрдісіне тигізер әсері бар. Бұл мәселені тереңдей қарастырғанда зерттеушілер екі түрлі пікірге ойысады. Біреулері сүзгілеу жылдамдығы төмен болса кірінділердің тұтылу үрдісі жақсара түседі десе, екіншілері оған кері ұстанымды байқатады. Дегенмен бірінші топтағылардың саны көбірек. Екіншіден, сүзгілеу жылдамдығы металды құю жылдамдығына тікелей ықпал ететінін білеміз. Ал,

құю жылдамдығы болса артық-кемі жоқ белгілі бір оңтайлы шамада болуы керек екені мәлім.

Drexel университетінің (Филадельфия, АҚШ) ғалымдары [1] сүзгілеу жылдамдығы мен кірінділерден тазарту тиімділігі арасындағы байланысты келесідей математикалық өрнек түрінде береді:

$$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{K_0}{\mathcal{G}_C} L\right],$$

мұнда  $\eta$  – тазарту тиімділігінің коэффициенті;

$K_0$  – кинетикалық көрсеткіш коэффициенті;

$\mathcal{G}_C$  – сүзгілеу жылдамдығы;

$L$  – сүзгі қалыңдығы.

Бұл өрнектен сүзгілеу жылдамдығы өскен сайын тазарту тиімділігі төмендей беретінін көреміз. Тәжірибелік зерттеулерде [1]  $\mathcal{G}_C < 0,05$  шамасында ұстағанда  $\eta$  мәні 1-ге ұмтылатыны, ал сүзгілеу жылдамдығы өсе келе 0,7 см/с жеткенде сүзгінің кірінділерден тазарту тиімділігі екі еседей төмендеп кететіні ( $\eta=0,5\dots0,6$ ) анықталған. Басқа тәжірибеде [2]  $\mathcal{G}_C$  мәні 0,2 см/с-тен 0,5 см/с-ке дейін өзгергенде  $\eta$  мәні 45%-дан 20%-ға төмендегені тіркелген. Сонымен қатар  $K_0$  коэффициентіне көңіл аударған жөн. Себебі ол да өз кезегінде

сүзгілеу жылдамдығына тәуелді екен.  $\mathcal{G}_C$  өскен сайын  $K_0$  де онымен бірге өсетіні көрсетілген. Ол дегеніміз сүзгілеу жылдамдығы  $\mathcal{G}_C$  кинетикалық коэффициент  $K_0$  арқылы сүзгілеу тиімділігіне оң әсерін тигізеді деген сөз. Бұл қайшылыққа берілген түсінік бойынша сүзгілеу жылдамдығы үлкейгенде, біріншіден, уақыт бірлігі аралығында сүзгіге келіп тұратын кірінділер мөлшері арта түседі екен, ал екіншіден, инерциалық массасы көп ірі кірінді түйірлері ағын траекториясынан өз екпінімен ауытқып сүзгі бетіне бағытталуы күшейе бермек. Балқыманы тиімді түрде тазарту үшін сүзгілеу жылдамдығы өте аз  $\mathcal{G}_C < 0,01$  м/с, немесе үлкен  $\mathcal{G}_C > 0,1$  м/с болуы керек деген тұжырым бар [5]. Жылдамдық аз болған сайын кірінді түйіршіктері седиментациялық ығысу жолымен көбірек ұсталса, жылдамдық көп болғанда центрден тепкіш күштердің және жылдамдық градиенті әсерімен ығысып ағыннан бөлініп шығады. Сүзгілеу жылдамдығы 7-8 см/с асқанда майда түйіршіктерден тазарту тиімділігі едәуір нашарлап кететіні де айтылады кейбір жарияланымда [4]. Жапон зерттеушілерінің деректеріне сілтеме жасаған авторлар [6] сүзгілеу тиімділігі  $\mathcal{G}_C < 1$  см/с аймағында 75-90%,  $\mathcal{G}_C = 1...8$  см/с аралығында ең төмен деңгейден өтіп,  $\mathcal{G}_C = 8$  см/с асқанда 40-50%-ға көтеріледі дей келе, керек болған жағдайда жылдамдығы жоғары құю үрдісінде де тиімді дәрежеде сүзгілеу қолдануға болатынын жеткізеді.

Сүзгілеу жылдамдығының өзі құю үрдісіндегі жалпы арын  $H$ , құю жүйесінің арналарындағы кедергілер  $\zeta_i$ , сүзгінің өз кедергісі  $\zeta_c$  сияқты көрсеткіштерге тәуелді болады. Сүзгіні зерттеушілердің деректерінде оның жұмысын сипаттайтын көрсеткіш ретінде сүзгілеу кезінде болатын арын шығыны  $\Delta p$  (немесе  $\Delta h$ ) туралы айтылады. Өз кезегінде арын шығыны  $\Delta h$  мен сүзгі кедергісі  $\zeta_c$  сүзгінің қалыңдығына  $L$  тәуелді.

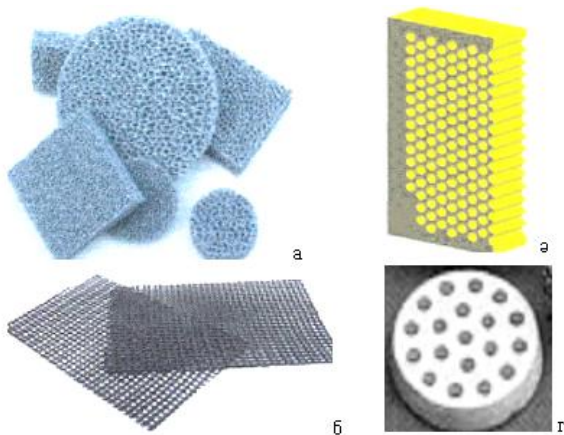
Сүзгінің қалыңдығы  $L$  сүзгі жұмысының тиімділігіне оң әсер ететіні жоғарыда айтылды. Қалыңдығы үлкейген сайын сүзгіден өткен металл бойындағы кірінділер азая бермек. Отқа төзімді материалдардың түйірлерінен тұратын қалыңдығы 45,7 см сүзгі [1] әзірге ең қалың сүзгі деп айтуға келеді. Темір тотығының және металл түріндегі алюминийдің көмегімен оттексіздендірілген Ст10 болатын сүзгілеп оны жалпы оттегінен тазарту тәжірибелерінде [2] сүзгі қалыңдығын 22 мм-ден 88 мм-ге дейін өзгерткенде қалдық оттегінің мөлшері 0,62-ден 0,18-ге дейін, немесе 3,5 есе азайған. Дегенмен, сүзгі қалыңдығын аса үлкейте берудің қажетсіздігін айта кеткен. Зерттеушілердің мәлімдеуінше [3,4] сүзгіні қабат-қабаттарға бөліп қарастырғанда оның әр қабатының тиімділігі әртүрлі болып шыққан. Тұтылған кірінділердің басым бөлігі алдыңғы қабаттарда жиналып қалады. Мысалы,  $L = 35$  мм болғанда кірінділердің басым бөлігі 5-7 мм тереңдікте жиналған [3]. 10-15 мм қалыңдықтан әрі қарай тұтылған кірінділер жоқтың қасы. Басқа зерттеулерде [4] ірі кірінділер мен тотық қабыршақтарының 50%-ы жоғарғы 15 мм қабатта, 75%-ы 35 мм тереңдікте, ал тек 5%-ы ғана соңғы 20-25 мм қабатта табылған. Осының соңынан, балқымаларды сүзгілеуге қалыңдығы 20-30 мм сүзгі қолдануға әбден болады деп қорытындылаған. [5] мақалада есептеу жолымен қалыңдығы 40 мм

сүзгі қабатын қолданып өлшемдері 40 мкм түйіршіктерді түгелдей (100%), 20 мкм түйіршіктердің 70%-ын, 10 мкм түйіршіктердің 20%-ын тазартуға болатыны көрсетілген. Бұл балқыма бойындағы барлық кірінділердің 63%-ын құрайды. Сүзгі қалыңдығын 80 мм-ге жеткізгенде сүзгілеу тиімділігі 80%-ға жақындайтыны сондағы графиктерден көрініп тұр. Мұндағы сүзгі қалыңдығын кішірейтіп 20...25 мм етіп алғанда балқыманы тазарту тиімділігі 55...60% шамасында болатыны байқалады. Оның өзінде 40 мкм кірінділердің 95%-ы, 20 мкм кірінділердің 2/3 бөлігі ұсталады.

Сүзгі кедергісінің  $\zeta_c$  тәуелді болатын факторы ондағы тесіктер мен кеуек арналардың өлшемі немесе диаметрі  $d_{mec}$ . Ең көп қолданылатын көбіккерамикалық сүзгілердің (1,а – сурет) ішкі арналарының белгілі бір тұрақты пішіні мен өлшемі жоқ, бұралаң-қалтарыстары көп және тарылып-кеңейіп отырады. Орташа есеппен алғанда кеуек арналарының бір қуысы мен екінші қуысын жалғайтын терезесінің диаметрі үш түрлі сүзгіде 1270, 760 және 560 мкм немесе 1,27...0,56 мм құрайды [6]. Кеуек қуыстарының өлшемі 0,83-тен 2,5 мм-ге дейін.

Ұялы сүзгі торлардың (1,ә – сурет) тесіктері (ұясы) дұрыс геометриялық пішіндегі цилиндр немесе призма түрінде орындалады да орналасу жиілігі  $1 \text{ см}^2$  аумағында 8-ден 64-ке дейін, ал ең тығыз орналасқанда диаметрі 1 мм болып келеді. Тесіктерінің диаметрі 5 мм-ден үлкен сүзгілер де кездеседі (1,г – сурет).

Бұрынғы КСРО аумағында кең тараған, сонымен бірге әлі де қолданыста жүрген «Фирам-процесс» үрдісінде тесіктері 0,6×0,6 мм-ден 1,7×1,7 мм-ге дейін болатын шыныматалы сүзгілер (1,б – сурет) пайдаланады. Отқа төзімді материалдар түйірлерінен төселген сүзгілер де көбіккерамикалық сүзгіге ұқсас, түйірлердің арасындағы ашық қалған, бір-бірімен жалғасқан сан-алуан пішінді саңылаулардан құралатын арналарға ие. Олардың белгілі болып отырған ең кіші түйірлерінің диаметрі 1,0...1,6 мм [3] болса, металл балқымаларын тазартуға түйірлері 2...3 мм сүзгілерді қолдану өте сирек кездесетін жағдай екені де айтылады [4]. Демек, тиімді диаметрі 1 мм-ден кіші арналар мұндай сүзгілерде кездесе бермейді. Тиімді диаметрі 2...6 мм аралығында жататын, түйірлерінің диаметрі 5...15 мм сүзгілерді пайдалану ұтымды деген пікір айтылып жүр [5]. Әрине, сүзгі тесіктері тар болған сайын сүзгілеу тиімділігі, бөліп айтқанда «елек» механизмі арқылы тазарту арта түсетіні анық. Дей тұрғанмен, сүзгі тесіктері мен арналарының диаметрлерін одан әрі кішірейтуге одан металл балқымасының өтпей қалу қауіпі шек қоятынын ескеру керек. Олай болмаған күнде сүзгі кедергісі  $\zeta_c$  орасан үлкен мәнге ие болып, құю режимін сақтау үшін гидростатикалық арын  $H$  да тым үлкейіп кетеді. Тым үлкен арын сүзгіге қатты салмақ түсіріп, оны үгітіп те жіберуі мүмкін.

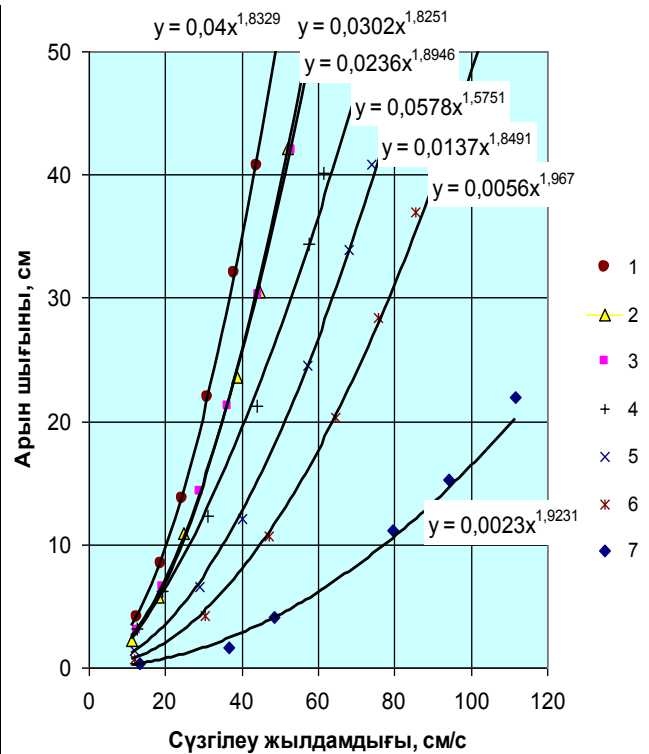


1 – сурет

Сүзгілеу кезіндегі металл ағысын сипаттайтын маңызды гидравликалық көрсеткіштің бірі – ағын режімі. Сүзгілеу режімі турбулентті болғанда майда кірінділерден, ал ламинарлы болса ірі кірінділер мен тотық қабықшаларынан тиімді тазартуға жағдай жасалатыны айтылған [4]. Балқыма бойында кірінділердің майдасы мен ірісі бірге кездесетіндіктен турбулентті және ламинарлы режімдер қосарласып жататын өтпелі режімді пайдаланған ұтымды болады деп көрсетеді. Сүзгілеу үрдісі ламинарлы режімде өтуі үшін Рейнольдс критеріі өте аз болуы керек,  $Re < 2 \dots 10$ . Бірақ, оның нақты шамасы  $Re = 45 \dots 700$  екені бұл режімнің мүмкін еместігіне нұсқайды. Оған қоса бұралаң тесікті сүзгілерде ламинарлықты бұзатын тосын өзгерістер көп болатыны белгілі.

Сүзгілеу режімінің ламинарлықтан алшақ болуы зерттеулер бағытын түбегейлі өзгертетін жәйт екенін басып айтқан жөн. Ыңғайлы болғандықтан сүзгілеу үрдісін математикалық өрнектеуге жаппай қолданып жүрген Дарси заңы тек қана ламинарлық ағынға арналып, сүзгіден өткенде жоғалатын арын шығынын ағын жылдамдығының бірінші дәрежесіне пропорционал деп есептейді. Құйма бөлшектер өндірісіндегі құю жүйесінде ағын жылдамдығы үлкен, жергілікті кедергілер бір-біріне жақын орналасқандықтан онда әбден дамыған турбуленттік режім орныққан. Мұнда ламинарлық Дарси заңына жүгіну үлкен олқылықтарға апарды. Құю жүйесіне қойылған сүзгі ағын жылдамдығының екінші дәрежесіне пропорционалды арын шығынын береді деп күту орынды болмақ.

Зертханалық тәжірибелерде сүзгілердің ағынға әсерін тексеріп, ондағы арын шығынының сүзгілеу жылдамдығына тәуелділігінің сипатын және сол арқылы сүзгілеу режімін анықтауды мақсат етіп қойдық. Тәжірибе нәтижелері 2-суретте берілген.



2 – сурет

Суреттегі графиктер төрт топқа бөлінген жеті сүзгі туралы мәлімет береді: баспалап тесілген керамикалық сүзгі торлар (1, 4 сызықтар); шыныматалы сүзгі тор (2 сызық); кеуек құрылымды көбіккерамикалық сүзгілер (3, 5, 6 сызықтар) және экструзиялық жолмен алынған керамикалық ұялы сүзгі тор (7 сызық). Осылардың екеуі органикалық шыныдан жасалған жасанды сынақ үлгісі (модель) түрінде, ал бесеуі өндірісте қолданылатын табиғи түрінде алынды. Сүзгілердің толық сипаттамасы кестеде келтірілген.

Тәжірибеден алынған нүктелер бойымен жүргізілген аппроксимациялаушы сызықтар параболалық сипатын көрсетіп тұр. Ал, сол сызықтардың алтауының (1, 2, 3, 5, 6, 7 сызықтар) математикалық өрнектерінің дәрежелері 1,8251...1,967 аралығында жатыр. Бұл сандар 2 дәрежесіне тиіп тұр деп айтуға болады. Осыдан сүзгілеу үрдісінің гидравликалық режімі ламинарлықтан тым алшақ, ал керісінше турбуленттікке аса жақын деген маңызды тұжырым жасауға мүмкіндік алынып тұр. Басқалардан ерекшеленіп шыққан 4-сүзгінің өзінде парабола дәрежесі 1,5751-ге тең болып турбулентті аймаққа қарай ойысқан. Демек, сүзгілерден өткенде жоғалатын арын шығынын сүзгілеу жылдамдығының квадратына пропорционалды деп алып, сүзгінің өзін құю жүйесіндегі кедергілердің қатарындағы тағы бір жергілікті кедергі ретінде қарастыруға болады екен. Мұның өзі құю жүйесін есептеуді жеңілдететіні сөзсіз.

Графиктерден (2-суретті қараңыз) көретініміз сүзгілердің көрсеткіштерінің бір-бірінен орасан зор айырмашылығы. Сүзгілеу жылдамдығы 40 см/с болғанда сүзгілердегі арын шығыны 4 см-ден (экструзиялық сүзгі тор, 7 сызық) 35 см-ге (баспалап тесілген сүзгі тор, 1 сызық) дейін 9 есе өсіп өзгереді екен. Сөйте тұра кестеге назар аударсақ тым үлкен кедергі жасап тұрған 1-сүзгінің тесіктері (кіші диаметрі 2,5 мм) ке-

дергісі ең аз деген 7- сүзгінің тесіктерінен (2,08×2,08 мм) үлкенірек болып тұр. Бұл болса іс жүзінде сүзгілерді таңдау кезінде олардың гидравликалық кедергісіне мұқият қарауды талап етеді. Кейбір сүзгілердің тесіктері үлкен болғанмен ағынды жеңіл өткізе қоймайтынын көреміз.

Осы мақаланың басында бөліп айтқан сүзгілеу жылдамдығына келетін болсақ, құйма өндірісіндегі құю режимін сақтау тұрғысынан қарағанда оның мәні жоғарыда келтірілген әдебиет деректерінен біршама артық болып тұрады. Құю жүйесі аумағында 0,01...1 см/с арасындағы сүзгілеу жылдамдығын қамтамасыз ету оңай шаруа емес. Оған тек сүзгіні үстіңгі қалыптың жоғарғы бетінде орналасқан құю тостағына қойып барып қана жақындауға болады. Ал енді, тіктүтіктің астындағы немесе одан кейінгі арналарда

орналасқан сүзгіден өтетін ағын жылдамдығы ең кем дегенде 10 см/с, әйтпесе одан едәуір үлкен екенін дәлелдеу қиын емес.

Сөз соңында құю жүйесінің арналарында тұратын сүзгілердің қалыңдығы да шектеулі болатынын айта кету керек. Ең қалыңы 25 мм. Одан қалың болса ағынды тежеуі күшейіп кетеді. Қорыта келе, әдебиеттегі деректердің барлығы дерлік зертхана жағдайында ерекше әдістемелермен алынғаны көрінеді. Олардың басты ерекшелігі, әртүрлі материалдардан жасалған сүзгілердің балкымаларды кірінділерден тазарту мүмкіндігі мен механизмін ашып көрсету болған. Осыдан, әдебиетте берілген құнды деректерді гидравликалық сипаттамалары жағынан окшау тұрған құю жүйесіндегі сүзгілеу үрдісіне тікелей көшіре салуға келмейтініне көз жеткіздік.

Тәжірибеде сыналған сүзгілер сипаттамасы

2 – суреттегі орыны	Сүзгі атауы	Тесіктерінің өлшемі/сипаты	Сүзгі қалыңдығы, мм	Материалы
1-сызық	Баспаланған сүзгі торлар (1 сур., г).	3,5/2,5мм/көнегін конус	10	Органикалық шыны
2-сызық	Шыныматалы сүзгі тор (1сур., б).	1,5×1,5мм/квадрат	1...1,5	Шыныматалы жіптер
3-сызық	Көбіккерамикалық кеуек сүзгі (1сур., а).	6 тес/см/кеуек	23	Көбіктенген керамика
4-сызық	Баспаланған сүзгі торлар(1 сур., г).	2,5/3,5мм/тарылатын тесік		Керамика
5-сызық	Көбіккерамикалық кеуек сүзгі(1 сур., а).	4 тес/см/кеуек, бұдыр бет	22	Көбіктенген керамика
6-сызық	Көбіккерамикалық кеуек сүзгі(1 сур., а).	4 тес/см/кеуек, тегіс бет	21	Көбіктенген керамика
7-сызық	Экструзиялық ұялы сүзгі тор(1 сур., ә).	2,08×2,08 мм/квадрат	13	Керамика

### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Apelian, D. and Mutharasan, R. // *Jornal of metals*, 1980, N 9, p.14-18.
2. Суворов С.А., Тебуев Н.Б. Моделирование процесса фильтрации расплавов металлов // *Огнепороды*. 1991. № 9. С. 17-20.
3. Волков В.А. Разработка процесса очистки от взвешенных примесей жидких сплавов на основе цинка и олова путем фильтрования: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1982.
4. Курдюмов А.В. и др. Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов. М.: *Металлургия*, 1980. 196 с.
5. Ген Э.Б., Киманов Б.М., Ким В.А. Обобщенная оценка эффективности осаждения неметаллических частиц на поверхности фильтра // *Тр. междунар. науч. конф. «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан – 2030» (Сагиновские чтения № 2)*. Караганда, 2010. Ч. 3. С. 138-140.
6. Хаммершмид П., Янке Д. Удаление неметаллических включений фильтрованием расплавов стали // *Черные металлы*. 1988. № 5. С. 16-25.
7. Чугаев Р.Р. *Гидравлика*. Л.: Энергоиздат. Ленинградское отд-ние, 1982. 672 с.

УДК 669.168

**МУХАМБЕТГАЛИЕВ Е.К.,  
БАЙСАНОВ С.О.,  
ЧЕКИМБАЕВ А.Ф.,  
БАЙСАНОВ А.С.**

### Возможность и перспективы получения нового комплексного ферросплава – алюмосиликомарганца

Обработка жидкого металла в ковше ферросплавами с целью его легирования, модифицирования и раскисления остается одним из основных методов воздействия на качество сталей и чугунов. Переход сталеплавильного производства на новый уровень, связанный с повышением качества продукции, требует выпуска эффективных ферросплавов нового поколения, а также пригодных для обработки металла в ковше. Наиболее перспективными для этих целей являются комплексные сплавы. Так как практически основная масса сталеплавильной продукции раскисляется и легируется кремнием, алюминием и марганцем, то получение сплавов, содержащих данные элементы в

комплексе, – является одним из актуальных направлений [1, 2].

Применение такого сплава одновременно решает проблему совместного раскисления и легирования стали. Из литературных источников известно, что ранее проводились опытные испытания по выплавке сплава алюминий-марганец-кремний (АМС) бесшлаковым способом. Для выплавки сплава АМС использовались марганцевые руды и высокозольные угли. При использовании углей Экибастузского угольного бассейна в ходе плавки из руды восстанавливается марганец, а из пустой породы и золы угля – кремний и алюминий [3].



Шихта для выплавки сплава АМС имела следующий состав, масс. %:

- экибастузский уголь 52-56;
- марганцевая руда 44-47.

Сплав АМС, полученный при электротермической плавке джездинской марганцевой руды с использованием в качестве восстановителя экибастузского угля, имел следующий состав: 25-40 % Mn; 30-40 % Si; 6-12 % Al; 0,8-1,25 % P; Fe – остальное.

Применение сплава АМС, выплавляемого электротермическим способом из марганцевых руд и энергетических углей для раскисления спокойных марок стали взамен обычно применяемых раскислителей, показало его эффективность благодаря комплексности состава.

Несмотря на вышеизложенные преимущества, сплав АМС по ранее разработанной технологии после выпуска при остывании обычно рассыпался до порошкообразного состояния. Порошкообразный сплав надо было брикетировать, то есть появлялись дополнительные затраты.

Из-за непостоянства состава сплава и непривязанности содержания хотя бы одного из ведущих элементов (марганца или кремния) к количеству в стандартных (традиционных) ферросплавах (силикомарганец или ферросилиций) он не получил широкого внедрения в сталеплавильной промышленности.

Исходя из уровня содержания кремния и марганца в сплаве такого типа для стандартизации может быть более приемлемым содержание кремния на уровне 40-50 %. При этом марганец и алюминий могут исполнять роль легирующих компонентов и их содержание можно варьировать в различных марках сплава с шагом 5 или 10 %.

На основании этого была разработана технология выплавки кремний-, алюминий- и марганецсодержащего сплава, которая заключается в совместной электротермии марганцевой руды и высокозольного угля в качестве восстановителя, без использования дорогостоящего кокса. Марганцевая руда использовалась как нейтрализатор избыточного количества углерода, а процесс выплавки осуществлялся бесшлаковым способом [4, 5].

Задачей разрабатываемой технологии получения нового высокоэффективного комплексного сплава – алюмосиликомарганца – являлась оптимизация состава шихты, позволяющая перерабатывать дешевые нетрадиционные материалы с получением заданного состава сплава.

При этом сплав должен был полностью исключать явление его рассыпания при охлаждении и кристаллизации.

Поставленная цель достигается тем, что шихта для выплавки алюмосиликомарганца в рудно-термической печи содержит высокозольный уголь Карагандинского угольного бассейна, зольностью более 50 %, который малоприменим в энергетических целях; марганцевую руду месторождения «Западный Камыс» и кварцит. По технологии получения сплава АМС использовали уголь зольностью до 30 %. Для

получения сплава алюмосиликомарганца можно использовать высококремнеземистые марганцевые руды некондиционные по содержанию марганца (20-30 %), которые непригодны для получения стандартных марок ферросиликомарганца и тем более ферромарганца.

Проведенный анализ высокозольного угля показал его соответствие по техническому составу и содержанию основных компонентов ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) в золе требованиям для выплавки сплава алюмосиликомарганца. Положительным отличием отвалных высокозольных разновидностей углей от ранее применявшихся в составе шихты комплексного сплава АМС экибастузских углей является низкое содержание фосфора, серы, железа и более высокое удельное электросопротивление, что выгодно отличает их по сравнению с традиционными восстановителями.

Отвалные высокозольные угли Карагандинского угольного бассейна зольностью 50-60 % представляют собой в основном природную смесь оксидов кремния, алюминия и углерода. Минеральная составляющая пород на 93-96 % состоит из оксидов кремния и алюминия. Содержание соединений железа, кальция, магния и титана, сумма которых не превышает 4-7 %. Содержание  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в зольной части находится в пределах 55-60 % и 30-35 % соответственно. Угольная масса в породах в зависимости от зольности составляет 20-34 % при содержании до 16 % летучих соединений. Данный состав высокозольных углей гарантирует получение кремнеалюминиевого сплава с марганцем с содержанием кремния 45-50 %, алюминия 10-25 %, марганца 10-20 %.

При высоких температурах, вплоть до температуры размягчения – 1600 °С углеотходы сохраняют механическую прочность, оплавление происходит только при температуре выше 1650 °С.

Карагандинские высокозольные угли представляют большой интерес с точки зрения получения высококачественных сортов алюмосиликомарганца с содержанием кремния 40-50 %, алюминия в интервале 15-20 % и марганца 10-20 % для их использования в металлургическом производстве средне- и низкоуглеродистого ферромарганца.

Опытные испытания по выплавке алюмосиликомарганца были проведены в электропечи с мощностью трансформатора 200 кВА. В качестве шихтовых материалов были использованы отвалы высокозольные угли Карагандинского бассейна, марганцевая руда месторождения «Западный Камыс» и кварцит.

Шихта для выплавки алюмосиликомарганца имеет следующий состав в зависимости от зольности угля, масс. %:

- высокозольный уголь 75-93;
- марганцевая руда 6,5-20;
- кварцит 0,5-5.

Особенностью технологии является исключение применения кокса. Технический и химический составы шихтовых материалов представлены в таблице 1.

Анализ результатов испытаний показал, что переработка данного состава шихты позволяет получить комплексный сплав – алюмосиликомарганец, в котором содержится, масс. %: кремния 45-50; алюминия 15-25; марганца 12-20; железа 6-10; углерода 0,3-0,4; фосфора 0,02-0,03.

При изменении соотношения компонентов шихтовой смеси от указанных выше пределов полностью нарушается процесс получения качественного сплава. При избытке восстановителя в ванне печи наблюдается накопление карбидов, а при его недостатке происходит переход в шлаковый режим. Снижение содержания в шихте высокозольного угля ниже значений 70-75 % приводит к шлакованию шихты, а увеличение выше 93 % – к накоплению карбидов в ванне печи. Нарушение указанных пределов по содержанию высокозольного угля в ходе опытных испытаний

Таблица 1 – Технический и химический составы шихтовых материалов

Материал	Содержание, %									
	A <sup>d</sup>	V <sup>d</sup>	W <sup>a</sup>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Mn <sub>общ</sub>	Fe <sub>общ</sub>	P <sub>общ</sub>
Высокозольный уголь	50-55	16-17	1,8-2,1	56-62	32-35	1,5-3,3	0,23-0,55	–	0,23-0,63	0,01-0,02
Марганцевая руда	–	–	–	35,8	2,08	0,93	0,72	26,72	2,77	0,024
Кварцит	–	–	0,5	97,05	0,76	0,77	0,02	–	0,49	0,013

Таблица 2 – Химический состав алюмосиликомарганца

Сплав	Содержание элементов, %						Извлечение элементов, %		
	Si	Al	Mn	Fe	Ca	P	Si	Al	Mn
1	46,15	16,45	20,04	6,5	0,6	0,03	76,95	75,94	92,28
2	45,54	20,11	17,3	8,7	0,7	0,02	83,98	81,7	90,87
3	48,58	25,41	12,13	10,1	0,05	0,02	82,75	85,35	91,29

Полученный комплексный сплав, в отличие от сплава АМС, который рассыпался спустя несколько часов после выпуска, не рассыпается в атмосфере воздуха, даже после выдержки 6-8 месяцев. Сплав же АМС вне зависимости от состава, вследствие низкого содержания алюминия и высокого фосфора, практически всегда подвержен явлению рассыпания. При этом отпадает какая-либо необходимость в затратах на брикетирование или окомкований конечного продукта.

Выплавка сплава алюмосиликомарганца характеризуется комплексным использованием всех основных элементов руды, высоким коэффициентом перехода элементов в сплав, обуславливающим низкий расход шихтовых материалов при получении единицы количества продукта. Бесшлаковая плавка с полным восстановлением всех оксидных соединений и высокая температура процесса позволяют удалять фосфор на 55-60 % возгонкой с газообразными продуктами плавки.

Использование сплава алюмосиликомарганца при обработке стали позволит заменить на 100 % ферросилиций, на 70-80 % силикомарганец и на 65-75 % алюминий, применяемые по традиционной технологии.

В результате проведенных исследований выявлены следующие положительные особенности разработанной технологии:

1. Бедные высококремнеземистые марганцевые руды, не пригодные для производства стандартных

приводило к ухудшению технологичности процесса, с получением сплава некондиционного состава, который был не подвержен явлению рассыпания.

В полученном сплаве с предложенным составом шихты содержание фосфора было в пределах 0,025-0,030 %, напротив, комплексному сплаву АМС было присуще содержание фосфора 0,8-1,3 %. Это особенно важно при выплавке особо качественных сталей, допустимое содержание фосфора в которых не должно превышать 0,020-0,025. Для сплава алюмосиликомарганец исключение его рассыпания объясняется снижением концентрации фосфора и карбидных включений по границам зерен сплава при кристаллизации, что при содержании алюминия более 12 % практически полностью исключает его разрушение при охлаждении. Результаты опытных плавов алюмосиликомарганца представлены в таблице 2.

марок марганцевых ферросплавов, таких как ферромарганец, силикомарганец, по существующим технологическим схемам, могут быть использованы для выплавки сплава алюмосиликомарганец без предварительного их обогащения.

2. В качестве восстановителя используются отвалы высокозольные угли зольностью выше 50 %, обладающие высоким электросопротивлением, что позволяет повысить суточную производительность печи за счет повышения активного сопротивления шихты в ванне печи.

3. При производстве сплава алюмосиликомарганца в целевой продукт извлекается до 85-92 % марганца против 70-75 % при современном производстве марганцевых ферросплавов.

4. Полностью исключается возможность рассыпания сплава, отпадает необходимость в брикетировании или окомковании порошкообразного сплава, как в случае получения сплава АМС.

5. Появляется возможность бесшлаковым способом перерабатывать практически все высококремнеземистые разновидности марганцевых руд Центрального Казахстана.

При переработке марганцевых руд бесшлаковым способом на комплексный сплав типа алюмосиликомарганец основное значение имеет валовый состав руд, их минералогическая характеристика практически не влияет на технико-экономические показатели процесса. В этом смысле технология переработки марганцевых руд на

комплексные сплавы является более универсальной, чем переработка марганцевых руд посредством операций их обогащения для выплавки традиционных марганцевых сплавов.

Предлагаемый состав шихты, опробованный в электропечи с мощностью трансформатора 200 кВА, позволяет проводить технологический процесс переработки марганцевых руд совместно с

отвальными высокозольными углями, обеспечивая комплексное использование сырья с получением высокоэффективного комплексного сплава.

Таким образом, разработана новая технология получения комплексного сплава – алюмосиликомарганца с высокими технико-экономическими показателями процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медведев Г.В., Такенов Т.Д. Сплав АМС. Алма-Ата: Наука, 1979. 140 с.
2. Жучков В.И. и др. Энергетические параметры и конструкции рудовосстановительных электропечей. Челябинск: Металл, 1994. 192 с.
3. Друинский М.И., Жучков В.И. Получение комплексных ферросплавов из минерального сырья Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1988. 208 с.
4. Байсанов С.О., Мухамбеталиев Е.К., Чекимбаев А.Ф., Байсанов А.С. Исследование электросопротивления и температуры начала размягчения шихтовых материалов для выплавки комплексных марганцевых сплавов // Науч. техн. жур. «Промышленность Казахстана». 2009. № 4 (55)-5(56). С. 90-91.
5. Мухамбеталиев Е.К., Байсанов С.О., Чекимбаев А.Ф., Байсанов А.С., Шинбаева У.Б., Махметова А.М.. Получение марганецсодержащего кремнеалюминиевого сплава // Тр. междунар. науч.-практ. конф. «Начно-технический прогресс: техника, технология, образование». 25-26 июня 2010 г. Актобе, 2010. С. 646-648.

УДК 536.722:669.168

САЛИНА В.А.,  
БАЙСАНОВ С.О.,  
БАЙСАНОВ А.С.,  
ШАБАНОВ Е.Ж.

#### Расчёт термодинамических данных соединений $BaSi_2$ , $Mn_{11}Si_{19}$ , $Fe_2Si$ в системе Ba-Si-Mn-Fe для прогнозирования процесса получения силикомарганца, легированного барием

Модифицирование стали является эффективным средством повышения качества металлоизделий и экономии металла. В основном для этих целей используют комплексные сплавы, содержащие щелочно-земельные металлы, которые равномерно распределяют неметаллические включения, способствуя упрочнению чугуна и увеличению ковкости стали, например, силикобарий, силикокальций, ферроалюмосиликокальций с барием и др. Одним из таких комплексных сплавов является силикомарганец, легированный барием, имеющий в своём составе и раскислитель, и модификатор.

Производство и применение таких сплавов представляет сложную научно-техническую проблему. Одним из основных аспектов является задача разработки эффективных технологических процессов их производства, обеспечивающих высокое сквозное извлечение активных элементов из сырья. Не менее сложной является разработка рациональных составов сплавов, обеспечивающих простоту, безопасность и экономичность модифицирования [1].

Всё это невозможно без проведения глубоких теоретических исследований в области металлургической термодинамики с построением диаграммы фазовых равновесий системы Ba-Si-Mn-Fe, имеющей в своём составе соединения  $BaSi_2$ ,  $Mn_{11}Si_{19}$ ,  $Fe_2Si$ , энтальпия образования которых неизвестна.

Поэтому целью исследований являются определение термодинамической константы этих соединений, фазовых равновесий в системе Ba-Si-Mn-Fe и определение области рационального состава силикомарганца, легированного барием.

Ниже приведены наиболее достоверные полумпирические методы расчёта энтальпии образования неорганических соединений  $BaSi_2$ ,  $Mn_{11}Si_{19}$  и  $Fe_2Si$  с использованием термодинамических данных одноподобных соединений. В данном случае для соединения  $BaSi_2$  одноподобными веществами являются  $CaSi_2$  и  $SrSi_2$ , для  $Mn_{11}Si_{19}$  (соединение  $MnSi_{1,727}$  [2]) –  $CrSi_2$  и  $FeSi_2$ , для  $Fe_2Si$  –  $Co_2Si$  и  $Ni_2Si$ .

Метод В.А. Киреева [3] основан на зависимости  $\Delta H_f^{0, 298,15}$  образования одноподобных соединений от их молекулярной массы:

$$\Delta H_f^{0, 298,15} = a + b \cdot M, \quad (1)$$

где  $M$  – молекулярная масса одноподобных соединений, г/моль;

$a$  и  $b$  – постоянные для одноподобных соединений (определены методом наименьших квадратов).

По формуле (1) получены следующие уравнения линейной регрессии:

для соединения  $BaSi_2$   $y = -74385,27 - 792,09 \cdot x$ ,

для соединения  $Mn_{11}Si_{19}$   $y = -782370,88 + 6304,45 \cdot x$ ,

для соединения  $Fe_2Si$   $y = -8165922,50 + 55159,84 \cdot x$ ,

где  $x$  – молекулярная масса соединения, (г/моль);

$y$  – стандартная энтальпия образования соединения, Дж/моль.

А.Ф. Капустинский [4] предложил правило термохимической логарифмики, согласно которому теплоты образования соединений данного элемента с разными элементами данной подгруппы Периодической системы Д.И. Менделеева (ПС) или данного ряда её при отнесении к одному грамм-эквиваленту можно рассматривать как линейную

функцию логарифма порядкового номера этих элементов и выразить следующей зависимостью:

$$\frac{\Delta H_f^{0, 298,15}}{W} = a \cdot \lg Z + b, \quad (2)$$

где W – валентность элемента в соединении;

Z – порядковый номер элемента в ПС элементов (Z<sub>Ca</sub>=20, Z<sub>Si</sub>=38, Z<sub>Ba</sub>=56, Z<sub>Cr</sub>=24, Z<sub>Mn</sub>=25, Z<sub>Fe</sub>=26, Z<sub>Co</sub>=27, Z<sub>Ni</sub>=28).

На основе вычислений по формуле (2) получены следующие уравнения линейной регрессии:

для соединения BaSi<sub>2</sub>  $y = -67243,20 \cdot x + 12104,22$ ,  
 для соединения Mn<sub>11</sub>Si<sub>19</sub>  $y = 808864,19 \cdot x - 1216647,88$ ,  
 для соединения Fe<sub>2</sub>Si  $y = -628866,13 \cdot x + 841552,06$ ,  
 где x – значение десятичного логарифма порядкового номера элемента;

y – стандартная энтальпия образования соединения, делённая на валентность элемента в соединении, Дж/моль.

Метод Е.А. Букетова и В.П. Малышева [5] (уточнение правила термохимической логарифмики) представляет зависимость  $\Delta H_f^{0, 298,15}$  от десятичного логарифма эквивалентного потенциала:

$$\frac{\Delta H_f^{0, 298,15}}{W} = a \cdot \lg I_{\text{эв}} + b, \quad (3)$$

где I<sub>эв</sub> – эквивалентный потенциал (частное от деления группового потенциала на номер группы), э.в.

По формуле (3) определены следующие уравнения линейной регрессии:

для соединения BaSi<sub>2</sub>  $y = 627528,44 \cdot x - 671465,06$ ,  
 для соединения Fe<sub>2</sub>Si  $y = -1256070,88 \cdot x + 1323943,13$ ,  
 где x – значение десятичного логарифма эквивалентного потенциала, э.в.;

y – стандартная энтальпия образования соединения, делённая на валентность элемента в соединении, Дж/моль.

Метод Л.А. Резницкого [6] представляет зависимость  $\Delta H_f^{0, 298,15}$  от нормального электродного потенциала катиона:

$$-\Delta H_f^{0, 298,15} = a - b \cdot E^0, \quad (4)$$

где E<sup>0</sup> – электродный потенциал катиона, В.

На основе вычислений по формуле (4) получены следующие уравнения линейной регрессии:

для соединения BaSi<sub>2</sub>  $y = -4709898,50 + 1695985,63 \cdot x$ ,  
 для соединения Fe<sub>2</sub>Si  $y = 373033,69 - 929803,69 \cdot x$ ,  
 где x – электродный потенциал катиона, В.;

y – стандартная энтальпия образования соединения, Дж/моль.

В.П. Шишочкин [7] разработал метод расчёта  $\Delta H_f^{0, 298,15}$  на основании эквивалентного ионизационного потенциала, вычисляемого по формуле:

$$I_{\text{эв}} = \frac{I_e + I_a}{N}, \quad (5)$$

где I<sub>к</sub> и I<sub>а</sub> – первые ионизационные потенциалы катиона и аниона соответственно;

N – номер группы ПС элементов, к которой принадлежит металл.

Аналитическое выражение по методу В.П. Шишочкина имеет вид:

$$\Delta H_f^{0, 298,15} = a \cdot \sqrt{I_{\text{эв}}} + b. \quad (6)$$

На основе зависимостей (5) и (6) получены следующие уравнения линейной регрессии:

для соединения BaSi<sub>2</sub>  $y = 941236,75 \cdot x - 2663729,50$ ,  
 для соединения Mn<sub>11</sub>Si<sub>19</sub>  $y = -151666,75 \cdot x + 139217,72$ ,  
 для соединения Fe<sub>2</sub>Si  $y = 2509937,50 \cdot x - 3654492,50$ ,  
 где x – полученное значение эквивалентного ионизационного потенциала, э.в.;

y – стандартная энтальпия образования соединения, Дж/моль.

Рассчитанные значения  $\Delta H_f^{0, 298,15}$  всеми методами и усреднённое значение этих величин приведены в таблице 1.

Для определения области прогнозируемого состава сплава необходимо построить диаграмму фазового состава системы Ba-Si-Mn-Fe, позволяющую проследить последовательность фазовых превращений и прогнозировать конечное состояние отдельно взятой системы. В научной литературе не предпринято попыток представить в целом диаграмму фазового строения этой системы. В связи с этим в настоящей статье применили простой метод – термодинамически-диаграммный анализ (ТДА), который базируется на изучении фазовых закономерностей сложных систем с учётом особенностей диаграмм состояния системы. Данные ТДА являются политермическими: справедливы во всём интервале отрицательных значений изобарно-изотермического потенциала взаимодействий, приводящих к установленным парам сосуществующих веществ.

Необходимо отметить, что эти данные хоть и являются предварительными, но дают возможность целенаправленно исследовать диаграммы состояния конкретной системы и свойства её расплавов.

При разработке высокотемпературных химико-технологических и металлургических процессов интерес представляют вероятности протекания тех или иных отдельных реакций, а также величина, характеризующая соотношение продуктов реакций и исходных веществ в момент равновесия, – константа равновесия. Программный комплекс «Gibbs», разработанный учёными ХМИ им. Ж. Абишева, позволяет определить изменение энтальпии, энтропии, теплоёмкости и в конечном итоге значение энергии Гиббса реакции в гомогенно-жидкофазном состоянии при различных температурах с учётом всех фазовых переходов (аллотропическое превращение, плавление и т.д.) для всех компонентов систем и вычислить константу равновесия реакции. Математическое выражение для определения значения  $\Delta G_r^0$  реакции, согласно ПК «Gibbs», можно представить следующей зависимостью:

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298,15}^0 + \int_{298,15}^{T_{i\delta(i\bar{e})}} \Delta C_p dT + \Delta H_{i\delta(i\bar{e})}^0 - T \times \left( \Delta S_{298,15}^0 + \int_{298,15}^{T_{i\delta(i\bar{e})}} \Delta C_p \frac{dT}{T} + \Delta S_{i\delta(i\bar{e})}^0 \right), \quad (7)$$

где  $\Delta H_{f,298,15}^0$  – стандартное значение энтальпии реакции, Дж/моль;

$\Delta S_{298,15}^0$  – стандартное значение энтропии реакции, Дж/(моль·К);

$\Delta C_p$  – значение теплоёмкости реакции, Дж/(моль·К);

$T_{\text{пр(пл)}}$  – текущая температура или температура фазового превращения (плавления, испарения и т.д.) компонента соответственно, К;

$T$  – температура, при которой система находится в гомогенно-жидкофазном состоянии, К;

$\Delta H_{i\delta(i\bar{e})}^0$  – энтальпия фазового превращения или плавления компонента соответственно, Дж/моль;

$\Delta S_{i\delta(i\bar{e})}^0$  – энтропия фазового превращения или плавления компонента соответственно, Дж/(моль·К).

Если требуется вычислить  $\Delta G_T^0$  данного вещества, имеющего целый ряд фазовых переходов, в жидком

состоянии, расчёт производится последовательно. Сначала до первого фазового перехода, после этого учитывается энтальпия и энтропия первого фазового перехода ( $T_{1\text{фп}}$ ), далее от  $T_{1\text{фп}}$  до  $T_{2\text{фп}}$  и т.д. В завершение интегрирование осуществляется от температуры плавления ( $T_{\text{пл}}$ ) до новой нужной температуры ( $T$ ).

При таком подходе можно вести строго термодинамический расчёт термодинамических величин ( $\Delta G_T^0$ ,  $\Delta H_T^0$  и  $\Delta S_T^0$ ) любой реакции в любых состояниях: твёрдофазном, гетерогенном (твёрдое-газ, твёрдое-жидкость) и гомогенном (жидкофазном). Именно такой подход будет более правильным, когда требуется определить (рассчитать) степень диссоциации конгруэнтно плавящегося соединения в момент плавления или при определённом перегреве от  $T_{\text{пл}}$  ( $AB_{\text{жидк.}} = A_{\text{жидк.}} + B_{\text{жидк.}}$ ).

По вышеизложенной методике вычислили термодинамические константы (энергия Гиббса, константа равновесия) отдельно рассматриваемых квазисистем Ba-Si-Mn, Ba-Fe-Si, Si-Fe-Mn в расплавленном состоянии, полученные значения которых приведены в таблице 2. Система Ba-Fe-Mn представляет собой твёрдый раствор.

Таблица 1 – Оценочные значения энтальпии образования соединений BaSi<sub>2</sub>, Mn<sub>11</sub>Si<sub>19</sub>, Fe<sub>2</sub>Si

Соединение	$\Delta H_{f,298,15}^0$ (Дж/моль)					
	$\Delta H = f(Mr)$	$\Delta H = f(\lg Z)$	$\Delta H = f(I_{\text{yca}})$	$\Delta H = f(E^0)$	$\Delta H = f(\sqrt{I_{\text{yca}}})$	$\Delta H_{f,298,15}^0 \text{ ндää}$
BaSi <sub>2</sub>	-227654,7*	-211142,8*	-238480,0*	-216939,8*	-235338,7*	-225911,2
Mn <sub>11</sub> Si <sub>19</sub>	-1432624,6	-926618,0*	-	-	-954422,7*	-940520,4
Fe <sub>2</sub> Si	-455680,1	-90298,4*	-65226,8*	36079,9	-90381,3*	-81968,8

Примечание \* – значения  $\Delta H_{f,298,15}^0$ , используемые для усреднения

Таблица 2 – Термодинамика реакций в системе Ba-Si-Mn-Fe

№ п/п	Подсистема	Реакция	$\Delta G_T^0$ при T=2500 К, Дж/моль	$K_p$
1	Ba-Si-Mn	3 Ba+2 Mn <sub>5</sub> Si <sub>3</sub> = 3 BaSi <sub>2</sub> +10 Mn	-247192	14,58·10 <sup>6</sup>
2	Ba-Fe-Si	Ba + 2 Fe <sub>2</sub> Si = 4Fe + BaSi <sub>2</sub>	-99172	0,12·10 <sup>3</sup>
3	Si-Mn-Fe	8FeSi <sub>2</sub> +11 MnSi = 8 FeSi+Mn <sub>11</sub> Si <sub>19</sub>	572262	1,11·10 <sup>-12</sup>
		4 FeSi+Mn <sub>5</sub> Si <sub>3</sub> = 5 MnSi+2 Fe <sub>2</sub> Si	28915	249,08·10 <sup>-3</sup>
		6 FeSi+5 Mn = Mn <sub>5</sub> Si <sub>3</sub> +3 Fe <sub>2</sub> Si	-92954	0,87·10 <sup>2</sup>
		3 Fe <sub>2</sub> Si+5 Mn = Mn <sub>5</sub> Si <sub>3</sub> +6 Fe	-25162	0,03·10 <sup>2</sup>

На основе полученных результатов построена диаграмма фазового строения системы Ba-Si-Mn-Fe, изображённая на рисунке.

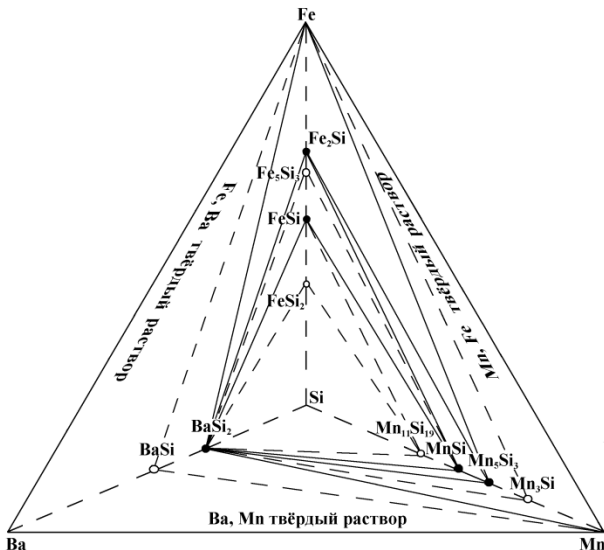


Диаграмма фазового состава системы Ba-Si-Mn-Fe при T=2500 К

Из рисунка видно, что приведённая диаграмма фазового строения системы Ba-Si-Mn-Fe состоит из 6 квазисистем: Ba-Fe-BaSi<sub>2</sub>-Mn, Mn-Fe-Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>-BaSi<sub>2</sub>, Fe-BaSi<sub>2</sub>-Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>Si, Fe<sub>2</sub>Si-Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>-MnSi-BaSi<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>Si-BaSi<sub>2</sub>-MnSi-FeSi, FeSi-BaSi<sub>2</sub>-MnSi-Si. Состав прогнозируемого сплава находится за областью Fe-BaSi<sub>2</sub>-Mn, а именно в подсистеме BaSi<sub>2</sub>-Mn<sub>11</sub>Si<sub>9</sub>-Si-FeSi<sub>2</sub>.

Таким образом, на основе полуэмпирических методов расчёта термодинамических характеристик веществ определена энтальпия образования неорганических соединений BaSi<sub>2</sub>, Mn<sub>11</sub>Si<sub>9</sub>, Fe<sub>2</sub>Si:  $\Delta H_{f 298,15}^0 \text{BaSi}_2 = -225,9$  кДж/моль;  $\Delta H_{f 298,15}^0 \text{Mn}_{11}\text{Si}_9 = -940,5$  кДж/моль;  $\Delta H_{f 298,15}^0 \text{Fe}_2\text{Si} = -82,0$  кДж/моль. С помощью ПК «Gibbs» на основе термодинамически-диаграммного анализа построена диаграмма фазового состава системы Ba-Si-Mn-Fe в расплавленном состоянии с применением рассчитанных значений энтальпии соединений BaSi<sub>2</sub>, Mn<sub>11</sub>Si<sub>9</sub> и Fe<sub>2</sub>Si. Состав прогнозируемого сплава расположен в подсистеме BaSi<sub>2</sub>-Mn<sub>11</sub>Si<sub>9</sub>-Si-FeSi<sub>2</sub>. Система Ba-Si-Mn-Fe построена впервые и является важнейшей для металлургических процессов в области ферросплавного производства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябчиков И.В., Панов А.Г., Корниенко А.Э. Модификаторы для обработки стали // Сб. докладов Литейного консилиума № 2 «Теория и практика металлургических процессов при производстве отливок из чёрных сплавов». Челябинск: Челябинский дом, 2007. С. 84.
2. Гельд П.В., Сидоренко Ф.А. Силициды переходных металлов четвёртого периода. М.: Металлургия, 1971. 584 с.
3. Киреев В.А. Методы практических расчётов в термодинамике химических реакций. М.: Химия, 1970. 520 с.
4. Рузинов Л.П., Гуляницкий Б.С. Равновесные превращения металлургических реакций. М.: Металлургия, 1975. 416 с.
5. Букетов Е.А., Малышев В.П. Термохимия и строение внешних электронных слоёв элементов // Журн. физ. химии. 1967. Т. XLI. № 5. С. 1057-1064.
6. Резницкий Л.А. Приближённый метод расчёта теплоты образования неорганических соединений // Журн. физ. химии. 1961. Т. XXXV. № 8. С. 1853-1859.
7. Шишочкин В.П. О соотношении между теплотой образования химических соединений и положением элементов в таблице Д.И. Менделеева // Тр. Ленинградского политехнического ин-та. Л., 1955. № 180. С. 117-128.

УДК 66.018.8:67.04

ИСАГУЛОВ А.З.,  
ШАРАЯ О.А.,  
САДВАКАСОВ А.М.

#### Механизмы релаксационных процессов в стеклопластиках

Армированные пластики представляют собой макрогетерогенные системы, свойства которых зависят не только от свойств армирующих волокон и полимерной матрицы, но и от взаимодействия между компонентами, приводящего к изменению структуры и физических свойств граничных слоев полимерной матрицы.

Степень изменения этих характеристик зависит от многих факторов, в частности, от степени наполнения, энергии когезии полимера, адгезионного взаимодействия и жесткости макромолекул [1], вклад

каждого из которых в настоящее время не удаётся количественно оценить.

Решение проблемы полной реализации упруго-прочностных характеристик армирующих волокон в композите также связано со структурными и релаксационными свойствами граничных слоев. Поэтому в последние годы расширяются исследования с использованием комплекса физических методов для оценки и целенаправленного изменения структуры и характеристик граничных слоев, среди которых наиболее информативными являются методы

релаксационной спектроскопии, в частности механические [2].

Структурные превращения и релаксационные явления в высокоармированных сшитых полимерах, отличающихся от систем, наполненных дисперсными наполнителями, значительной анизотропией структуры и свойств, изучены недостаточно. Не установлена связь между сложной структурой армированной полимерной системы и обусловленным этим многообразием механизмов внутреннего трения в них. Поэтому в работе проведено систематическое исследование явлений механической релаксации в армированных эпоксидных полимерах [2, 3].

В качестве полимерных матриц были взяты эпоксидные полимеры на основе эпоксидианового ЭД-20 (отвердители: ТЭАТ, 211Б), эпокситрифенального ЭТФ (отвердитель: 211) олигомеров, а также полимеры марок УП-2124А, УП-2157А. В качестве армирующих материалов использовались стеклянные волокна на основе алюмоборосиликатного и алюмомгнезиевого стекол марок АБС, ВМП, ВМ-1, а также кварцевые волокна, в качестве аппретов для стекловолокон использованы органосилановые соединения: АГМ-3, АГМ-9, ХПТЭС, вторичные аminosиланы и парафиновая эмульсия.

Исследование динамических вязкоупругих свойств полимерных материалов проведено на установке, в которой реализован метод вынужденных изгибных резонансных колебаний консольно закрепленного стержня. Дифференциальный термический (ДТА) и термогравиметрический (ДТГ) анализ был выполнен на дериватографе системы Ф. Паулик, И. Паулик и Л. Эрдеи при скорости нагревания образца 3 град/мин.

При исследовании механических релаксационных свойств стеклопластиков установлено наличие четырех областей релаксации. Наиболее интересные явления установлены в области проявления процесса сегментальной релаксации. Нами обнаружена мультиплетность главного  $\alpha$ -релаксационного процесса в стеклопластиках, проявляющаяся в появлении дополнительного  $\alpha^1$ -пика внутреннего трения в области перехода полимерной матрицы из стеклообразного в высокоэластичное состояние (рисунок 1). Для стеклопластиков дополнительный пик появляется при более низких температурах по отношению к температуре механического стеклования неармированного полимера.

Сравнительное исследование логического ряда материалов с усложняющимся составом и структурой: 1) эпоксидный полимер; 2) эпоксидный полимер, модифицированный аппретом, применяемыми для поверхностной обработки стекловолокна; 3) эпоксидный полимер, армированный различным количеством аппретированного стеклянного волокна (рис. 1), методами вынужденных изгибных резонансных колебаний, ДТА и ДТГ, позволило установить механизм явления мультиплетности. Она обусловлена наложением двух или более релаксационных процессов в структурно гетерогенной полимерной матрице армированного пластика в области стеклования; размораживанием сегментальной

подвижности в слое полимера, находящемся вдали от поверхности стекловолокна и имеющем такие же структуру и свойства, как и неармированный полимер ( $\alpha$ -процессом) с энергией активации  $U = 17.4$  ккал/моль и дополнительным процессом  $\alpha^1$ -релаксации с энергией активации 16.5 ккал/моль в дефектном, пластифицированном, менее сшитом граничном слое полимера (толщина её составляет приблизительно 1.3 мкм) вблизи поверхности волокна, и проявляющемся поэтому при более низких температурах по сравнению с  $\alpha$ -процессом.

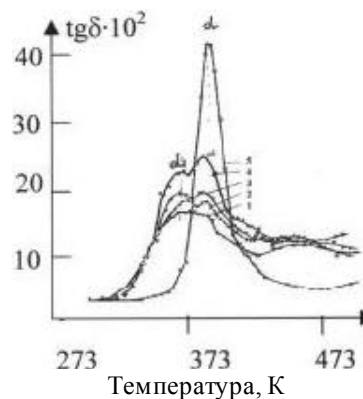


Рисунок 1 – Температурная зависимость  $\text{tg}\delta$  исходного полимера ЭДТ-10/5/ и стеклопластика на его основе с различным объемным содержанием стекловолокна ВМ-1 (аппрет АГМ-3):

1 – 73 %; 2 – 70,5 %; 3 – 65 %; и 4 – 61,8 %

Отнесение области  $\alpha^1$ -релаксации к процессам в граничном слое обосновано следующими экспериментальными данными. В стеклопластике аппрет, в основном, локализуется на границе волокно-полимер и его содержание составляет 6-12 масс. % по отношению к массе связующего; введение, например, более 1,5 масс. % аппрета АГМ-3 в полимер ЭДТ-10 приводит к его пластификации. Температурное положение  $\alpha^1$ -процесса стеклопластика совпадает с  $\alpha$ -процессом системы ЭДТ-10+3 масс. % АГМ-3. Изменение интенсивности проявления  $\alpha^1$ - и  $\alpha$ -процессов при увеличении содержания армирующих волокон (рис. 1) также свидетельствует в пользу высказанного соображения: интенсивность  $\alpha^1$ -процесса возрастает, а  $\alpha$ -процесса – убывает, что обусловлено переходом все возрастающей доли полимерной матрицы в граничные пластифицированные слои, где сегментальная подвижность менее заторможена.

Следует также иметь в виду, что температурные положения областей проявления  $\alpha$ -процессов стеклопластика и полимера ЭДТ-10 совпадают. Результаты исследования стеклопластиков методами оптической и электронной микроскопии свидетельствуют о различии структуры полимера вблизи поверхности армирующего волокна и вдали от неё (рисунок 2).

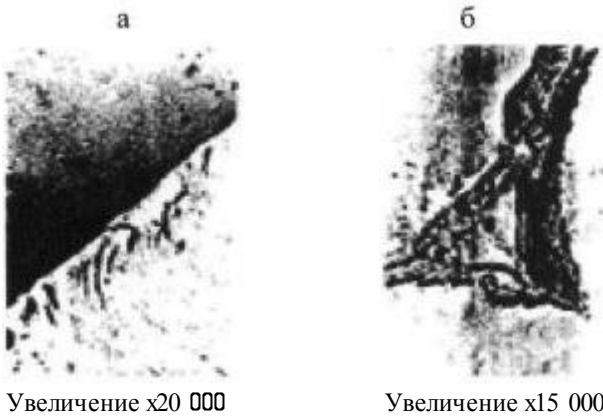


Рисунок 2 – Микроструктура однонаправленного стеклопластика на основе полимера ЭДТ-10, стекловолокон марки ВМ-1, аппрета АГМ-3:  
 а) граница между волокном и полимером;  
 б) полимер между тремя волокнами

Расширение температурного интервала проявления главного релаксационного процесса в армированных стекловолокном эпоксидных полимерах (рис. 1) обусловлено влиянием поверхности волокна, приводящим к возникновению граничных слоев полимерной матрицы с отличными по сравнению с ненаполненной полимером структурой и вязкоупругими свойствами, присутствием аппрета и изменением условий деформирования полимера в присутствии армирующих элементов [4].

Для исследованных полимерных материалов характерно проявление трех низкотемпературных ( $\gamma^1$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ) релаксационных переходов (рисунок 3). Для исходного ЭДТ-10  $\beta$ -процесс с энергией активации  $U = 9,6$  ккал/моль, обусловленный подвижностью гидроксиэфирной группы [201,202,16,25,26]:



проявляется при 223 К. При введении в ЭДТ-10 активной добавки АГМ-3 (более 1,5 масс. %), так же как и при введении в ЭДТ-10 аппретированных АГМ-3 стекловолокон,  $\beta$ -максимум смещается в сторону высоких температур. Вблизи температуры 193 К проявляется  $\gamma$ -переход, обусловленный подвижностью фенильных групп бисфенола – А [5, 6].

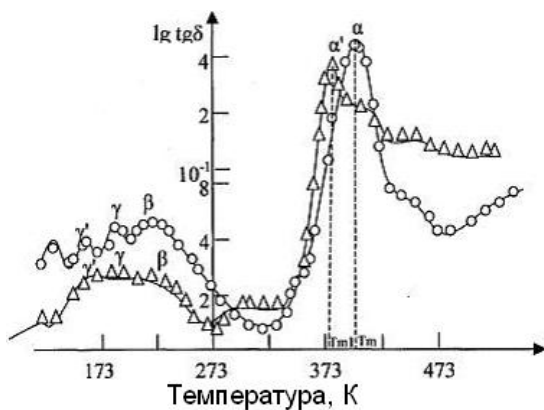


Рисунок 3 – Температурная зависимость тангенса угла механических потерь  $\text{tg}\delta$  полимера ЭДТ-10 (1), стеклопластика (2) на основе ЭДТ-10, стекловолокон ВМ-1, аппрета АГМ-3

В интервале температур 163-169 К имеет место  $\gamma^1$ -переход, обусловленный колебанием малого числа последовательно расположенных метиленовых групп  $-\text{CH}_2-$  [5, 6].

Низкотемпературные релаксационные процессы ( $\gamma^1$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ), обусловленные размораживанием подвижности кинетических единиц малых размеров, в полимерах, армированных аппретированным стекловолокном, проявляются при более высоких температурах. Область стеклования, обусловленная подвижностью кинетических сегментов, при этом смещается в сторону низких температур. Причиной подобного характера протекания локальных релаксационных процессов является образование на границе с волокном рыхлых, пластифицированных, дефектных слоев и обусловленное этим увеличение межмолекулярного взаимодействия в стеклообразном состоянии.

Между динамическим модулем упругости  $E_{\text{ВЭЛ}}^1$  стеклопластиков в высокоэластическом состоянии и максимальным значением величины механических потерь  $\text{tg}\delta_m$  в области проявления  $\alpha$ -максимума существует обратная зависимость: чем больше  $\text{tg}\delta_m$ , тем меньше  $E_{\text{ВЭЛ}}^1$ , и наоборот. Следовательно, степень сшивания полимерной матрицы армированного пластика можно оценить по величинам  $\text{tg}\delta_m$  и  $E_{\text{ВЭЛ}}^1$ . Чем больше  $E_{\text{ВЭЛ}}^1$  и меньше  $\text{tg}\delta_m$ , тем густота сетки в полимерной матрице выше. Качественной характеристикой степени сшивания полимерной матрицы композита предлагается величина:

$$n \approx \frac{E_{\text{ВЭЛ}}^1}{\text{tg}\delta_m}$$

Положения областей стеклования армированных полимеров на шкале температур располагаются в таком же порядке, что и для неармированных полимеров:

$T_m(\text{УП-2124А}) < T_m(\text{ЭДТ-10}) < T_m(\text{УП-2157А}) < T_m(\text{ЭТФ})$ , а по величине максимального значения механических потерь в области  $\alpha$ -перехода – в ином порядке:  $\text{tg}\delta_m(\text{ЭТО}) < \text{tg}\delta_m(\text{УП-2157А}) < \text{tg}\delta_m(\text{ЭДТ-10}) < \text{tg}\delta_m(\text{УП-2124А})$ .

На основе изложенного можно заключить, что механизмы релаксационных процессов в исходных и армированных эпоксидных полимерах имеют аналогичную природу. Однако возникновение в армированных полимерах граничных слоев со структурой и свойствами, отличными от таковых для ненаполненных полимеров, а также конформационное ограничение молекулярных цепей вблизи поверхности армирующего волокна существенно усложняют протекание в них релаксационных процессов, что проявляется в обнаруженной мультиплетности главного релаксационного процесса и в изменении интенсивности и температурного положения релаксационных процессов.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров. М.: Химия, 1997. 245 с.
2. Магомедов Г.М., Зеленев Ю.В. Механические релаксационные свойства армированных полимеров при низких температурах // Acta Polimerika. 1979. Т. 30. № 12. С. 750-753.
3. Магомедов Г.М., Задорина Е.Н. Анизотропия релаксационных свойств волокнистых полимерных композитов // ДАН СССР. 1986. Т. 286. № 3. С. 630-634.
4. Перепечко И.И. Акустические методы исследования полимеров. М.: Химия, 1973. 295 с.
5. Бартенев Г.М., Бартенева А.Г. Релаксационные свойства полимеров. М.: Химия, 1992. 432 с.
6. Руднев С.Н. Структура и молекулярная подвижность густосшитых эпоксиаминных полимеров: Дис.... канд. хим. наук. М., 1982.

УДК 621.9.04

СИХИМБАЕВ М.Р.

### Управление точностью формы и расположения отверстий с учетом текущего радиуса обработки

Упругие отжатия инструмента при растачивании происходят как в радиальном, так и в тангенциальном направлении, однако в силу их малости по сравнению с изменением текущего радиуса обрабатываемого отверстия, искажение формы при тангенциальных отжатиях будет малым второго порядка. Поэтому будем рассматривать только управление радиальными упругими отжатиями от изменения текущего радиуса обрабатываемого отверстия.

Даже при очень высокой геометрической точности современного оборудования для достижения высокой точности формы и расположения растачиваемых отверстий требуется высокая точность предварительно обработанных отверстий заготовки. Это условие является следствием наличия в технологической системе доминирующей колебательной системы – борштанги, являющейся звеном с малой жесткостью. Увеличению жесткости этого звена препятствуют объективные причины со стороны габаритов обрабатываемых отверстий. За счет существенного снижения отклонения от круглости, а также уменьшения отклонения расположения обрабатываемых поверхностей можно расширить область применения растачивания на случаи, когда по эксплуатационным соображениям этот метод обработки допускается как окончательный. Кроме того, применение управления точностью формы также оправдано снижением трудоемкости обработки, поскольку уменьшение коэффициента уточнения  $k_u$  позволяет, при прочих равных условиях, уменьшить количество рабочих ходов и добиться соответствия требованиям к точности обработки, а управление точностью формы ведет к общему повышению эффективности использования технологического оборудования [1].

Повышение эффективности использования оборудования возможно путем расширения номенклатуры инструментов в магазине станка для оперативного применения. Величина коэффициента уточнения  $k_u$  зависит от целого ряда факторов, основными из которых являются: жесткость технологической системы, режимы резания, механические свойства материала. Эти факторы,

имеющие значительные диапазоны изменения, приводят к тому, что коэффициент уменьшения погрешностей изменяется в широких пределах. Известно, что погрешность формы и расположения отверстий при растачивании, как правило, вызвана запаздыванием изменения силы резания по отношению к изменению толщины срезаемого слоя. Нестабильность упругих отжатий инструмента, снижающая точность формы и расположения обрабатываемых отверстий, может принимать вид колебательного процесса с переменными амплитудами и частотой порядка  $10^{-3}$ - $10^3$  Гц [1, 2], что порождает технические проблемы обеспечения достаточного быстродействия систем управления упругими отжатиями. Его длительность сравнима с периодом колебаний упругих отжатий и колебаний припуска в рассматриваемом диапазоне и потому оно должно быть учтено в разрабатываемых системах управления при механической обработке металлов.

Аналогично необходимо учитывать и запаздывание съема и отработки управляющего воздействия, достигающего  $10^{-3}$ - $10^{-2}$  сек в системах с пьезоэлектрическими преобразователями [3].

В связи с этим перспективным является использование аналоговых систем управления с пьезоэлектрическими исполнительными органами [4, 5].

Для управления точностью формы ранее применялось устройство, осуществляющее коррекцию смещений вершины резца от действия радиальной составляющей силы резания  $P_y$ . Это устройство выполнено в виде рамы с подвижной и неподвижной плитами, соединенными между собой упругой связью, а также содержит датчик перемещения пьезоэлектрического преобразователя [6].

Недостатком этого устройства является влияние времени запаздывания отработки величины управляющего воздействия на точность формы и расположения растачиваемых отверстий. Например, при времени запаздывания отработки величины управляющего воздействия, равном  $\tau_3 = 4$  мс, на технологическом переходе растачивания отверстий диаметром 60 мм с частотой вращения заготовки  $n = 1000$  об/мин, формообразующая вершины резца без

коррекции в радиальном направлении переместится по окружности на расстояние 13 мм, таким образом, на этом расстоянии произойдет копирование погрешности формы заготовки.

Для повышения точности формы растачиваемых отверстий путем учета текущего радиуса обрабатываемой поверхности и времени запаздывания обработки управляющего воздействия было разработано устройство, содержащее дополнительную державку с резцом, которая одновременно выполняет функцию контактного измерителя текущего радиуса обрабатываемой поверхности. При этом управляющее воздействие, вырабатываемое с учетом изменения текущего радиуса обрабатываемой поверхности, подается на пьезоэлектрический преобразователь равным времени запаздывания устройства управления. На боковой поверхности оправки выполнен вырез для ориентирования резцов относительно друг друга на угол  $\varphi$ .

Устройство для управления точностью формы закрепляется в суппорте станка. Корпус устройства состоит из подвижной и неподвижной частей, между которыми располагается пьезоэлектрический преобразователь. Подвижная часть представляет собой фланец с центральным отверстием, состоящим из оправки, в которую закрепляется первый резец, а в подвижной части – второй резец. Устройство содержит датчики: смещения вершины резца, контроля за текущим радиусом обрабатываемой поверхности, а также перемещения пьезоэлектрического преобразователя.

Величина временной задержки сигнала устанавливается такой, чтобы управляющее воздействие, компенсирующее изменение толщины припуска в произвольной точке обрабатываемой поверхности, реализовалось к тому моменту, когда над этой точкой будет проходить вершина второго резца расточной оправки.

Тогда величина временной задержки  $\tau_{вз}$  определяется по формуле:

$$\tau_{вз} = t - \tau_3 = \varphi / \omega n - \tau_3 \text{ (сек)}, \quad (1)$$

где  $\tau_3$  – запаздывание обработки управляющего

воздействия (сек).

Запаздывание обработки управляющего воздействия  $\tau_3$  накладывает ограничение на величину угла  $\varphi$  между первым и вторым резцами. При  $\tau_{вз} = 0$  получаем минимально допустимую величину угла  $\varphi_{\min}$ :

$$\varphi_{\min} = \omega n * \tau_3, \text{ (град)}. \quad (2)$$

Таким образом, угол  $\varphi$  между резцами выбирается исходя из неравенства

$$\varphi \geq \varphi_{\min} = \omega n * \tau_3, \text{ (град)}. \quad (3)$$

Устройство управления работает следующим образом.

С началом процесса резания появляется сила резания  $R$ , под воздействием которой происходит смещение вершин резцов от номинальных положений, настраиваемых при наладке инструмента на обрабатываемый размер. На датчиках появляется сигнал, пропорциональный этому смещению, который обрабатывается на пьезоэлектрическом преобразователе смещением подвижной части оправки. Перемещение подвижной части будет происходить до тех пор, пока величина рассогласования на датчиках не будет равна нулю.

Таким образом, происходит автоматическое управление точностью формы при растачивании отверстий с учетом текущего радиуса обрабатываемой поверхности и времени запаздывания обработки управляющего воздействия.

Экспериментальными исследованиями предлагаемого устройства установлено, что комплексная погрешность формы отверстия  $\Sigma\Phi$  уменьшается в 2,5 раза, что позволит получать отверстия с отклонением от круглости не более 8-10 мкм, обеспечивая погрешность расположения 10 мкм при исходной 80 мкм.

Предлагаемое устройство позволяет уменьшить погрешность формы растачиваемых отверстий, учесть влияние текущего радиуса обрабатываемой поверхности, а также совместить несколько технологических переходов в один.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. М.: Машиностроение, 1977. 304 с.
2. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. Л.: Машиностроение, 1986. 179 с.
3. Пьезоэлектрические преобразователи / Под ред. С.И. Пугачева. Л.: Судостроение. 1984. 267 с.
4. Чемерис И.И. Пьезоэлектрические двигатели линейных перемещений // Диэлектрики и полупроводники, 1977. № 12. С. 19-27.
5. Кэду У. Пьезоэлектричество и его практическое применение. М.: Иностранная литература, 1949. 715 с.
6. А.с. 13 445421 СССР. Способ управления формообразующей вершиной резца при точении (расточивании) высокоточных отверстий / Р.К. Мещеряков, М.Р. Сихимбаев (СССР). А1. В23В25/06. БИ № 38 от 15.10.87.

УДК 621.771.23

НАЙЗАБЕКОВ А.Б.,  
ТАЛМАЗАН В.А.,  
КЛЕМЕНТЬЕВ В.А.,  
АХМЕТГАЛИНА Н.В.

## Исследование надёжности оборудования НШПС-1700

С пуском на предприятии АО «АрселорМиттал Темиртау» в 2005 г. МНЛЗ и переходом на непрерывнолитые слябы, а также расширением сортамента прокатываемых сталей изменились условия эксплуатации оборудования непрерывного широкополосного стана (НШПС) 1700. Прокатка непрерывнолитых слябов с большими, по сравнению с катанными, размерами привела к ряду проблем. Одна из них – увеличение силы прокатки и, как следствие, ужесточение условий работы клетей и приводов, в ряде случаев их перегрузка. Возросли отказы оборудования НШПС-1700 и связанное с ними время простоев стана, т.е. снизилась надёжность оборудования [1].

При изменившихся условиях работы оборудования стана возникла необходимость исследования его надёжности, выявления законов распределения вероятности безотказной работы, являющейся основным показателем надёжности оборудования. Целью настоящей работы является исследование законов распределения вероятности безотказной работы оборудования НШПС-1700 при прокатке непрерывнолитых слябов.

Определение вероятности безотказной работы оборудования НШПС-1700 проведено на основе статистических данных о работе стана за период между капитальными ремонтами, произведёнными 02.09.2008 г. и 02.11.2009 г. Продолжительность безотказной работы определяли с учётом простоев стана между отказами на текущих ремонтах.

Оборудование стана было разделено на 34 группы в технологической последовательности – от участка загрузки до уборочной линии стана. Отдельно были выделены группы оборудования и системы, выполняющие аналогичные функции на различных участках стана: системы водяного охлаждения и гидросбыва окалины, гидравлические системы и системы смазки, механизмы перевалки валков, направляющие линейки [2]. Надёжность основных агрегатов стана – окалиноломателей, клетей черновой и чистовой групп стана, летучих ножниц – рассматривалась индивидуально, что позволяло проанализировать влияние технологических параметров на их работоспособность.

В таблице 1 приведены данные об отказах оборудования между капитальными ремонтами и средняя наработка на отказ, определяемая по формуле:

$$T_o = \sum_{i=1}^r \frac{t_i}{r}, \quad (1)$$

где  $t_i$  –  $i$ -наработка между отказами;  
 $r$  – число отказов в течение наблюдаемой наработки.

Подчеркнём, что учитывались только те отказы оборудования, которые приводили к простоям стана.

Для групп оборудования, обладающих наиболее представительными выборками и имеющих наибольшее число отказов – № 15; № 16; № 19; № 21; № 24; № 26; № 32 (номера как в табл. 1), – составили статистические ряды и построили гистограммы.

На основе статистических рядов и гистограмм определили виды теоретических распределений, рассчитали основные параметры распределений (математическое ожидание  $m(t)$ , дисперсию  $D(t)$ , среднее квадратическое отклонение  $s(t)$  времени безотказной работы), доверительные границы, построили теоретические кривые плотности вероятности безотказной работы.

В таблице 2 приведены результаты обработки статистических данных, на рис. 1 и 2 – гистограммы и теоретические кривые плотности вероятности безотказной работы.

Установлено, что распределение времени безотказной работы групп № 26 и № 32 описывается экспоненциальным законом, остальных – законом Вейбулла.

Для экспоненциального закона плотность вероятности безотказной работы за время  $t$  [3, 4]:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t), \quad (2)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов (параметр закона распределения), определяемая из выражения

$$\lambda = 1/T_o, \quad (3)$$

где  $T_o$  – средняя наработка на отказ (или среднее время безотказной работы).

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - Q(t) = \exp(-\lambda t). \quad (4)$$

Вероятность отказа

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt = 1 - \exp(-\lambda t). \quad (5)$$

Для закона распределения Вейбулла плотность вероятности безотказной работы

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right], \quad (6)$$

где  $a$  – параметр масштаба (задаёт масштаб кривой распределения по оси абсцисс);

$b$  – параметр формы (определяет остроту и асимметрию кривой плотности распределения).

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right]. \quad (7)$$

Вероятность отказа

$$Q(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right]. \quad (8)$$

Таблица 1 – Число отказов оборудования НШПС-1700 между капитальными ремонтами и средняя наработка на отказ

Группа оборудования	Число отказов	T <sub>о</sub> , час	Группа оборудования	Число отказов	T <sub>о</sub> , час
1. Загрузочный рольганг	5	1756,8	18. Клеть № 9	14	654
2. Печные толкатели	-	-	19. Клеть № 10	17	546,6
3. Приемный рольганг	9	1008	20. Клеть № 11	13	675,7
4. Рольганги черновой группы	9	923,1	21. Клеть № 12	32	267,1
5. Вертикальная клеть	1	3844	22. Проводковые столы	13	648,3
6. Черновой окалиноломатель	4	2242	23. Петледержатели	2	4386
Черновые клетки			24. Направляющие линейки	60	155,3
7. Клеть № 1	5	1416,8	25. Отводящий рольганг	13	693,38
8. Клеть № 2	4	2009	26. Первая группа моталок (№ 1-№ 3)	105	89,49
9. Клеть № 3	3	3046	27. Вторая группа моталок (№ 4-№ 5)	0	-
10. Клеть № 4	3	3068	28. Конвейер уборочной линии стана	2	3714
11. Клеть № 5	4	1448,4	29. Подъемно-поворотные столы	4	2051
12. Промежуточный рольганг	3	2964	30. Кантователи	-	-
13. Летучие ножницы	1	5916	31. Гидроблоки	10	839,6
14. Чистовой окалиноломатель	-	-	32. Гидравлические системы и системы смазки	60	156,13
Чистовые клетки			33. Системы водяного охлаждения и гидросбива окалины	9	792
15. Клеть № 6	21	441,7	34. Механизмы перевалки валков	13	722,77
16. Клеть № 7	16	563,8			
17. Клеть № 8	14	666,3			

Таблица 2 – Результаты обработки статистических данных

Группа оборудования	Число отказов	m(t), час	D(t)	s(t)	Доверительная граница наработки на отказ при P=0,9	
					нижняя T <sub>он</sub> , час	верхняя T <sub>ов</sub> , час
15. Клеть № 6	21	441,7	232 405,3	482,1	307,1	576,3
16. Клеть № 7	16	563,8	247 815,4	497,8	404,2	723,4
19. Клеть № 10	17	546,6	415 939,9	644,9	346,1	747,1
21. Клеть № 12	33	259	73 985,8	272	198,4	319,6
24. Направляющие линейки	60	155,4	41 529,1	203,7	121,7	189,1
26. Первая группа моталок (№ 1-3)	105	92,5	8 738,6	93,5	80,8	104,2
32. Гидравлические системы и системы смазки	60	120,4	13 980,8	118,3	100,9	139,9

Были получены следующие зависимости:

$$f(t)_{15} = 0,0022 \left(\frac{t}{430}\right)^{-0,056} \exp\left[-\left(\frac{t}{430}\right)^{0,944}\right]; \quad (9)$$

$$f(t)_{16} = 0,0015 \left(\frac{t}{581}\right)^{-0,148} \exp\left[-\left(\frac{t}{581}\right)^{0,852}\right]; \quad (10)$$

$$f(t)_{19} = 0,0017 \left(\frac{t}{502}\right)^{-0,169} \exp\left[-\left(\frac{t}{502}\right)^{0,831}\right]; \quad (11)$$

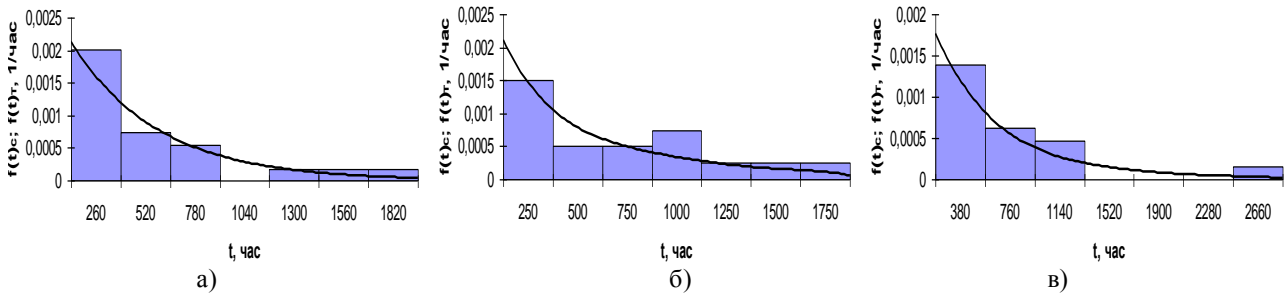
$$f(t)_{21} = 0,0038 \left(\frac{t}{241}\right)^{-0,088} \exp\left[-\left(\frac{t}{241}\right)^{0,912}\right]; \quad (12)$$

$$f(t)_{24} = 0,0067 \left(\frac{t}{136}\right)^{-0,095} \exp\left[-\left(\frac{t}{136}\right)^{0,905}\right]; \quad (13)$$

$$f(t)_{26} = 0,0108 \exp(-0,0108t); \quad (14)$$

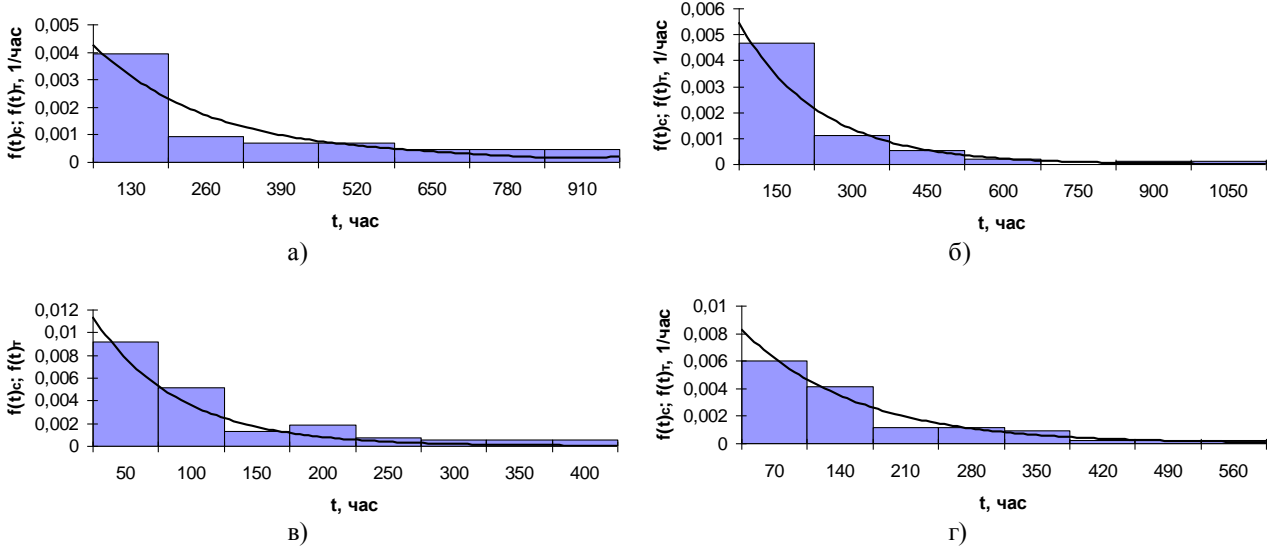
$$f(t)_{32} = 0,0083 \exp(-0,0083t). \quad (15)$$

Проверку согласованности теоретических и статистических распределений осуществили по критерию согласия Колмогорова. Вероятность соответствия теоретического и статистического распределений равна: для клетки № 6 – 0,99; клетки № 7 – 0,97; клетки № 10 – 0,99; клетки № 12 – 0,88; направляющих линеек – 0,86; первой группы моталок – 0,87; гидравлических систем и систем смазки – 0,89, что свидетельствует о достоверности принятых теоретических распределений.



а – клеть № 6; б – клеть № 7; в – клеть № 10

Рисунок 1 – Гистограммы  $f(t)_c$  и теоретические кривые  $f(t)_r$  плотности вероятности безотказной работы клетей



а – клеть № 12; б – направляющие линейки; в – первая группа моталок (№ 1-№ 3); г – гидравлические системы и системы смазки

Рисунок 2 – Гистограммы  $f(t)_c$  и теоретические кривые  $f(t)_r$  плотности вероятности безотказной работы

Построены кривые вероятности отказов и вероятности безотказной работы рассматриваемых групп оборудования. На рисунке 3 в качестве примера приведены кривые для направляющих линеек.

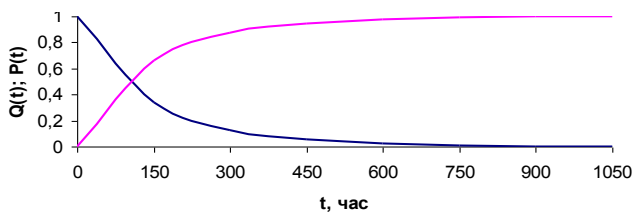


Рисунок 3 – Вероятность отказов  $Q(t)$  и вероятность безотказной работы  $P(t)$  направляющих линеек

Вероятность безотказной работы рассматриваемых групп оборудования при десятисуточном межремонтном периоде для текущих ремонтов равна: для клетки № 6 – 0,56; клетки № 7 – 0,62; клетки № 10 – 0,58; клетки № 12 – 0,37; направляющих линеек – 0,19; первой группы моталок – 0,07; гидравлических систем и систем смазки – 0,14 (рис. 4).

Анализ результатов исследования показывает, что для повышения надёжности стана необходимо, прежде всего, увеличить надёжность первой группы

моталок, гидравлических систем и систем смазки, направляющих линеек, клетки № 12.

Экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы первой группы моталок, гидравлических систем и систем смазки свидетельствует о том, что большинство отказов данных групп оборудования являются внезапными и аварийными, связан-

ными с поломками и разрушениями объектов.

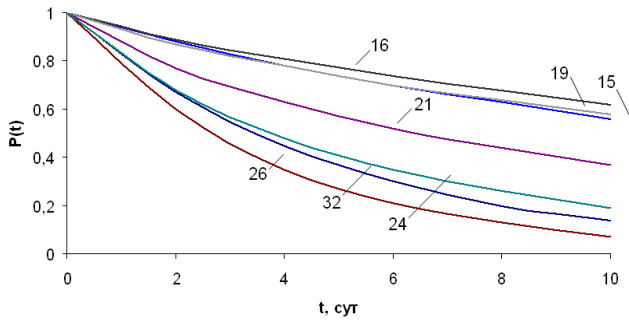


Рисунок 4 – Кривые вероятности безотказной работы P(t) отдельных групп оборудования НШПС-1700. Цифры – номера групп оборудования

Закон распределения Вейбулла, описывающий время безотказной работы клетей № 6, № 7, № 12 и направляющих линеек, свидетельствует об усталостном характере большинства отказов, возникающих в результате совместного воздействия износа и ударных нагрузок.

Таким образом, проведено исследование надёжности механического оборудования НШПС-1700 при прокатке непрерывнолитых слэбов, определены законы распределения времени безотказной работы.

Результаты исследования можно использовать при прогнозировании поломок оборудования, планировании ремонтов и расходов на поддержание его в рабочем состоянии, определении оптимального межремонтного периода.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Найзабеков А.Б., Талмазан В.А., Клементьев В.А., Ахметгалина Н.В. Оценка надёжности НШПС-1700 // Казахстанской Магнитке – 50 лет: сб. науч. тр. Алматы: РИК по учеб. и метод. литературе, 2010. 320 с.
2. Суворов И.К., Тиц Ю.В., Плахтин В.Д. Исследование надёжности оборудования непрерывного широкополосного стана 1700 горячей прокатки // Сталь. 1976. № 2. С. 52-55.
3. Гребенник В.М., Цапко В.К. Надёжность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надёжности и долговечности); Справочник. М.: Металлургия, 1989. 592 с.
4. Плахтин В.Д. Надёжность, ремонт и монтаж металлургических машин. М.: Металлургия, 1983. 415 с.

УДК 536.421

**СУЛЕЙМЕНОВ Т.,  
ИСАГУЛОВ А.З.,  
КАСЫМОВА Л.Ж.,  
ШАЙХОВА Г.С.,  
АБИЛЬГАЗИН Б.И.**

**О характере корреляционных функций жидкостей**

Методом молекулярной динамики вычислены временные корреляционные функции аргона (рис. 1), и здесь же представлены наши данные по проверке работоспособности программы метода молекулярной динамики.

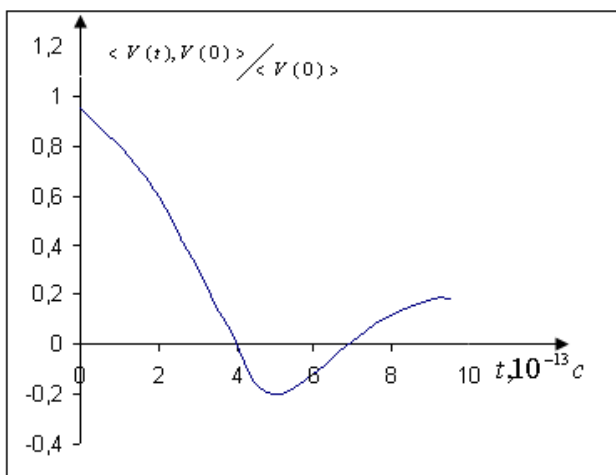


Рисунок 1 – Временная корреляционная функция скоростей

Как видно из рисунка 1, положительный «хвост» этой функции быстро растет при увеличении плотности. Особенно этот процесс характерен для

плотностей и температуры, близкой к тройной точке. Наличие дальнедействующего хвоста связано с явлениями в жидкости, область протяжения которых имеет порядок межатомного расстояния.

Молекулярно-динамические расчеты при постоянной плотности для сдвиговой вязкости вывели независимость ее от температуры в довольно широких диапазонах, т.е. от  $T_k$  до  $T \approx 400K$ . Заметим, что это находится в полном соответствии с экспериментом. Это еще раз доказывает закон Бачинского, который можно представить как  $\eta = B/(\Omega - b)$ , где  $\eta$  – изохорическая вязкость;  $\Omega$  – удельный объем;  $B$  и  $b$  – некоторые постоянные, отражающие специфику жидкостей.

Идея Френкеля о применимости микроскопического описания уравнениями гидродинамики движения атомов жидкости также приводит к аналогичному выводу. Довольно высокая точность получения коэффициентов вязкости методом молекулярной динамики для аргона объясняется тем, что усредняемая часть потенциального давления определяется обратным расстоянием в шестой степени ( $r^{-6}$ ). Это приводит к медленному снижению давления. В расчетах временных корреляционных функций потока приходится иметь дело с усреднением величин основного вклада, имеющих двенадцатую степень обратного расстояния и поэтому очень быстро спадающих с ростом последнего. В

случае расплавленных металлов, где межмолекулярное отталкивание не носит столь интенсивный характер и мягче, чем в аргоне, приходится для достижения той же самой точности задаваться гораздо большим числом частиц в системе. Аналогичное соображение позволяет объяснить неудачу молекулярно-динамических расчетов коэффициентов теплопроводности, осуществленных на моделях малого числа частиц в системе [1].

В области высоких плотностей кинетическая составляющая  $\eta(\Omega)$  становится малой по сравнению с потенциальной компонентой. Поэтому ее вклад в корреляционную функцию можно не учитывать. Действительно, при усреднении по времени перекрестные члены «скорость-потенциал» в расчете  $\eta(\Omega)$  обращаются в нуль. Однако при вычислении  $\eta(t)$  этого не происходит из-за временной зависимости микроскопического тензора давления. Но в области небольших времен можно предполагать малость вклада этих членов и выражение для  $\eta(t)$  может быть представлено как

$$\eta(t) = \frac{1}{\Omega \kappa_A T} \left\langle \sum_j F_j^x y_j \sum_k F_k^x(t) y_k(t) \right\rangle.$$

Подставляя вместо значений  $F_j$  и  $F_k$  их выражения, найденные в рамках парного взаимодействия, для сил коэффициента сдвиговой вязкости можно получить уравнение

$$\eta = -\frac{1}{\kappa_A} \rho \left( \frac{1}{2} \sum_{i \neq j} \frac{\partial}{\partial x_j} \exp\left(-\frac{u}{\kappa_A T}\right) y_{ij} \frac{1}{2} \sum_{l \neq k} \frac{\partial V(R_{kl}(t))}{\partial x_k(t)} \times \right. \quad (1)$$

$$\left. \times y_{kl} dt_2 dt_3 \dots dt_n / z \right).$$

При установлении функциональной формы  $\eta(t)$  используется приближение максвелловского времени релаксации  $\tau_m$ . Однако такой метод не может воспроизвести также характерные черты  $\eta(t)$ , на существование которых указывает компьютерная модель. Из уравнения (1) следует, что корреляция определяется членом, зависящим от времени и парного потенциала. Как было установлено в работе [2], для рассматриваемого атома  $\kappa$  расплава, как и для другого атома ансамбля, справедливо соотношение

$$\sum_{l \neq \kappa} \frac{\partial V(R_{kl}(t))}{\partial x_\kappa(t)} y_{kl}(t) = \sum_{l \neq \kappa} \frac{\partial V(R)}{\partial x} \delta(R - R_{kl}(t)) dR_y = \quad (2)$$

$$= \sum_{l \neq \kappa} \frac{1}{(2\pi)^3} \int dR_y \frac{\partial V(R)}{\partial x} \int dq \exp[iq(R - R_{kl}(t))],$$

где от векторов реального пространства осуществлен переход к обратным векторам. Тогда можно записать эквивалентное соотношение

$$\sum_{l \neq \kappa} \exp[iqR_{kl}(t)] \equiv \exp[iqR_\kappa(t)] \rho' q(t),$$

где  $\rho'$  – представлено следующей формулой:

$$\rho'(t) = \sum_{i=1}^{N-1} \exp[iqR_i(t)]$$

и представляет собой фурье-образ плотности оставшихся  $N-1$  атомов.

Коллективное движение атомов расплава может быть описано через взаимодействие атомов со средой рассмотрением флуктуации плотности оставшихся

атомов. Это можно сделать заменой члена  $\exp[iqR_{kl}(t)] \rho'_q(t)$  его наиболее вероятным значением при известной начальной конфигурации атомов. Основываясь на операторном исчислении, можно предположить, что изменение во времени динамической величины  $\exp[iqR_{kl}(t)] \rho'_q(t)$  может быть представлено выражением

$$(\exp[iqR_{kl}(t)] \rho'_q(t))_p = \exp[iqR_\kappa(0)] \rho'_q(0) G(q, t),$$

где  $G(q, t) = \langle \exp[iqR_\kappa(t)] \rho'_q(t) \exp[-iqR_\kappa(0)] \rho'_{-q}(0) \rangle < \rho'_q(0) \rho'_{-q}(0) \rangle^{-1}$ .

Одночастичный вклад в флуктуацию плотности во времени не обладает осциллирующим характером. А это дает возможность предположить, что функция  $G(q, t)$  может быть представлена произведением автокорреляционной функции частицы и корреляционной функции оставшихся атомов жидкости, т.е.

$$G(q, t) \approx \exp[iqR_\kappa(t) - R_\kappa(0)] < \rho'_q(0) \rho'_{-q}(0) > < \rho'_q(0) \rho'_{-q}(0) >^{-1} = F_S(q, t) F(q, t) / S(q),$$

здесь  $F_S(q, t)$  – фурье-образ автокорреляционной функции;  $F(q, t)$  – промежуточная функция рассеяния;  $S(q)$  – статический структурный фактор.

При выводе последнего уравнения использовано соотношение [1]

$$< \rho'_q(0) \rho'_{-q}(0) > < \rho'_q(0) \rho'_{-q}(0) > \approx \frac{F(q, t)}{S(q)}.$$

Используя эти преобразования, уравнение (2) может быть переписано в следующем виде:

$$\sum_{l \neq \kappa} \frac{\partial V(R_{kl}(t))}{\partial x_\kappa(t)} y_{kl}(t) = \sum_{l \neq \kappa} \frac{1}{2\pi^3} \int dR_q \frac{\partial V(R)}{\partial x} \int dq \exp[iq(R - R_{kl}(0))] G(q, t).$$

Подставляя эти выражения в (1) и произведя интегрирование по частям, получим функцию

$$\eta(t) = \frac{2\pi\rho^2}{S} \int_0^\infty dR_q(R) \frac{d}{dR} R^4 \int dR \frac{\partial V(R - R')}{\partial R} G(R, t),$$

где  $G(R', t) = \frac{1}{2\pi^3} \int dq \exp[iqR'] G(q, t)$  удовлетворяет начальному условию  $G(R', 0) = \delta(R')$ .

Как известно из работы [2], данная функция характеризует относительное движение двух атомов и

Рисунок 2 – Временная корреляционная функция  $\eta(t)$  для аргона

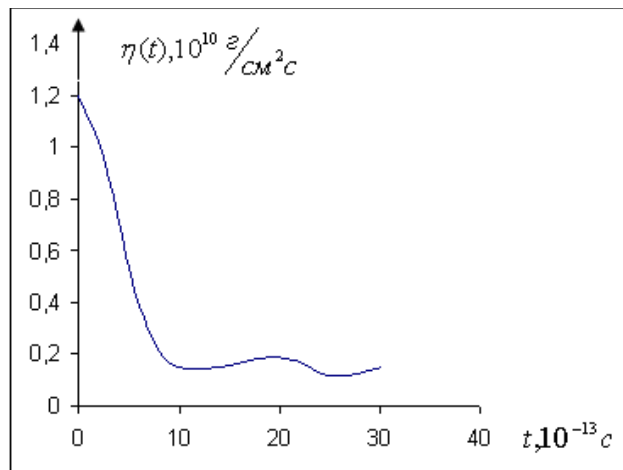
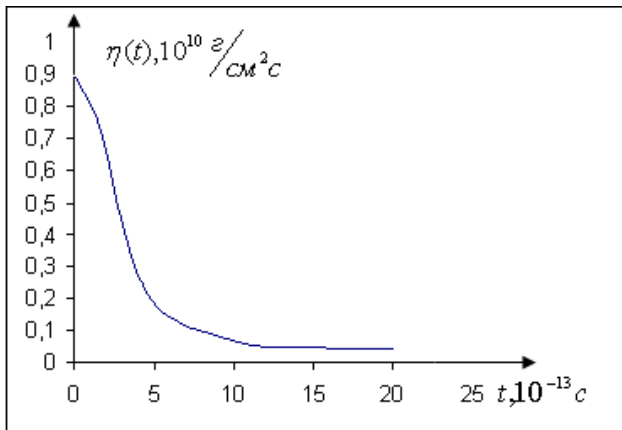


Рисунок 3 – Временная корреляционная функция  $\eta(t)$  для жидкого рубидия

учитывает влияние коллективного движения атомов среды. Выражение для  $\eta(t)$  также учитывает коллективные эффекты в жидкости. На рисунке 2 представлены характерные зависимости  $\eta(t)$  аргона, полученные методом молекулярной динамики. На рисунке 3 представлены функции  $\eta(t)$  для жидкого рубидия. Как показывают расчеты, дальнедействующая ветвь функции  $\eta(t)$  осциллирует. Осцилляции, по-видимому, связаны движениями атомов расплава. Значения коэффициентов сдвиговой вязкости, найденные как площадь под кривой  $\eta(t)$ , составляют для аргона  $\eta = 2.0 \cdot 10^{-3} П$ . Для жидкого рубидия  $\eta = 4.5 \cdot 10^{-3} П$ , тогда как экспериментальные значения  $\eta$  для аргона  $\eta = 2.5 \cdot 10^{-3} П$ , а для рубидия  $\eta = 6.7 \cdot 10^{-3} П$ .

Подводя итоги, можно сказать, что учет перекрестных членов для расчета коэффициента имеет важное значение. Для уменьшения ошибок расхождения эксперимента и теории необходимо рассмотреть трехчастичное взаимодействие.



**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Bloek R., Sush I.B., Blaser W. et. al. Measurement of the structure factor of Liquid rubidium by neutron diffraction up to 1400 K and 200 bar // Ber. Bunsenges. Phys. Chem., 1976, Bd. 80, 8, P. 718-774.
2. Brenman M., Nuthinson P., Sandster M. L., Schosieid P. Calculation of an effective pair interaction potential for Liquid neon from structure factor measurements // J. Phys. C. Solid State Phys., 1974, V. 7, N 23, P. 411- 414.

УДК 338.45/5:622.3(574)

НУРМУХАМЕТОВ Н.Н.

**Классификация показателей конкурентоспособности продукции предприятий машиностроительной отрасли Республики Казахстан**

Оценка уровня конкурентоспособности различных объектов представляет собой очень сложную работу, так как:

1. В конкурентоспособности фокусируются все показатели качества и ресурсоемкости работы всего персонала по всем стадиям жизненного цикла объектов.

2. В настоящее время отсутствуют международные документы по оценке конкурентоспособности различных объектов.

3. В Казахстане техническая, экономическая, кадровая, социальная политика не ориентирована на обеспечение конкурентоспособности различных

объектов. Ни одно министерство или ведомство, ни один научно-исследовательский институт не занимается комплексно проблемами конкурентоспособности.

Профессор Р.А. Фатхутдинов, в своих работах по конкурентоспособности товаров, организаций (предприятий), предлагает для оценки конкурентоспособности сложных объектов одни научные подходы, принципы и методы, а для простых и недорогих объектов – другие: экспертные оценки, пробные продажи нового товара; формулировать в каждом конкретном случае, исходя из сложности, особенностей и важности объекта, специфические



принципы оценки персонала, методы экспертной оценки товаров. Конкурентоспособность организации рекомендуется оценивать на основе показателей конкурентоспособности товаров с учетом значимости рынков, на которых они будут реализованы, для отрасли, страны. Для расчета и анализа конкурентоспособности товаров, организаций (предприятий), автор рекомендует исходные данные отражать в форме таблицы, которую предлагает в качестве типовой [1].

Для оценки и выбора новшеств необходимо иметь систему качественных и количественных признаков новой продукции, характеризующих ее конкурентные преимущества на рынках новшеств, капиталов и товаров. Система должна иметь комплексный набор учитываемых классификационных признаков и практическую ценность предлагаемого признака классификации. Во всем многообразии показателей конкурентоспособности продукции можно выделить две основные группы:

1. Показатели качества. К ним относятся: технический уровень, характеризующий соответствие продукции современным достижениям в науке и технике; качество изготовления в соответствии с требованиями международных, национальных и фирменных стандартов, технических регламентов, законодательных актов, специфических требований потребителя. Научно-техническая продукция характеризуется полным комплексом показателей качества. Это показатели назначения, надежности, ресурсоемкости, транспортабельности, стандартизации и унификации, однородности, безопасности, патентно-правовые, эргономические, эстетические, экологические и др.

2. Экономические показатели. К ним относятся: единовременные затраты потребителя на приобретение продукции (стоимость маркетинговых исследований, НИОКР, стоимость организационно-технологической подготовки производства, затраты на производство без амортизации предыдущих затрат, прибыль), затраты по доставке и монтажу (транспортные расходы, расходы по хранению продукции, стоимость монтажных и пусконаладочных работ), затраты в процессе эксплуатации (затраты по техническому обслуживанию и ремонту, затраты на топливо, энергию, материалы и пр. затраты на ликвидацию).

При оценке конкурентоспособности продукции невозможно выделить какой-либо единый критерий, который позволил бы однозначно определить уровень конкурентоспособности, так как существует целая система показателей, характеризующих конкурентоспособность продукции. Задача определения конкурентоспособности нового продукта носит многокритериальный характер. При применении большинства методов многокритериальной оценки альтернатив возникают две основные проблемы:

- как получить оценки по отдельным критериям;
- как объединить, агрегировать эти оценки в общую оценку полезности альтернативы.

В типичном методе принятия решений роли участников (или групп участников): менеджеров,

экспертов и т.п. – определены следующим образом. Обычно перечень критериев разрабатывают менеджеры совместно с консультантами. При этом определяется, как измерять уровень качества по каждому из альтернатив по шкале каждого из критериев. Если экспертов несколько, то их оценки сводятся к единой (обычно средней). При наличии оценок каждой из альтернатив по каждому из критериев возможен переход к получению общей ценности альтернатив. Такой переход осуществляется обычно на основании формулы, агрегирующей оценки по отдельным критериям в общую оценку полезности альтернатив. На этом этапе при большом числе альтернатив и критериев используется ЭВМ. При всем разнообразии методов у подавляющего большинства из них можно выделить следующие черты:

- 1) измерение полезностей менеджеров, осуществляемое тем или иным образом;
- 2) преобразование данных этих измерений в форму, позволяющую дать оценку альтернативам;
- 3) использование полученных оценок для сопоставления альтернатив.

При применении многокритериального подхода к анализу альтернатив, вне зависимости от достоинств и недостатков отдельных методов, можно выделить некий общий положительный эффект.

1. Прежде всего, само разложение единого качества на совокупность его составляющих имеет несомненные достоинства. Оценку по отдельным критериям гораздо легче определить. В случае когда эти оценки вызывают сомнение, их легче проверить. Если несколько экспертов оценивают одну альтернативу, то часто их мнения расходятся. Практика показывает, что это расхождение значительно сильнее при оценке альтернативы в целом. При оценке же по отдельным критериям совпадение точек зрения экспертов гораздо больше. Это понятно, поскольку оценка по отдельному критерию не столь сложна и имеет гораздо более четкое смысловое содержание.

2. Многие критерии являются удобным, гибким средством выражения политики менеджера: усиливая или ослабляя определенные аспекты критерия, менеджер усиливает или ослабляет определенные аспекты своей политики. Включая в число критериев удовлетворенность различных групп результатами принятия решений, менеджер может специально учитывать их интересы.

3. Эти методы предназначены для принятия индивидуальных решений, но иногда их приходится применять в ситуациях, где имеется несколько менеджеров. При этом оказывается, что расхождение между мнениями разных менеджеров также уменьшается, если они обсуждают продукцию не в целом, а по отношению к отдельным критериям [2].

Классификация показателей конкурентоспособности нового продукта, включающая три уровня ее представления, приведена на рисунке:

1. Области научного познания (технические, экономические, экологические, социальные, политические и другие науки);

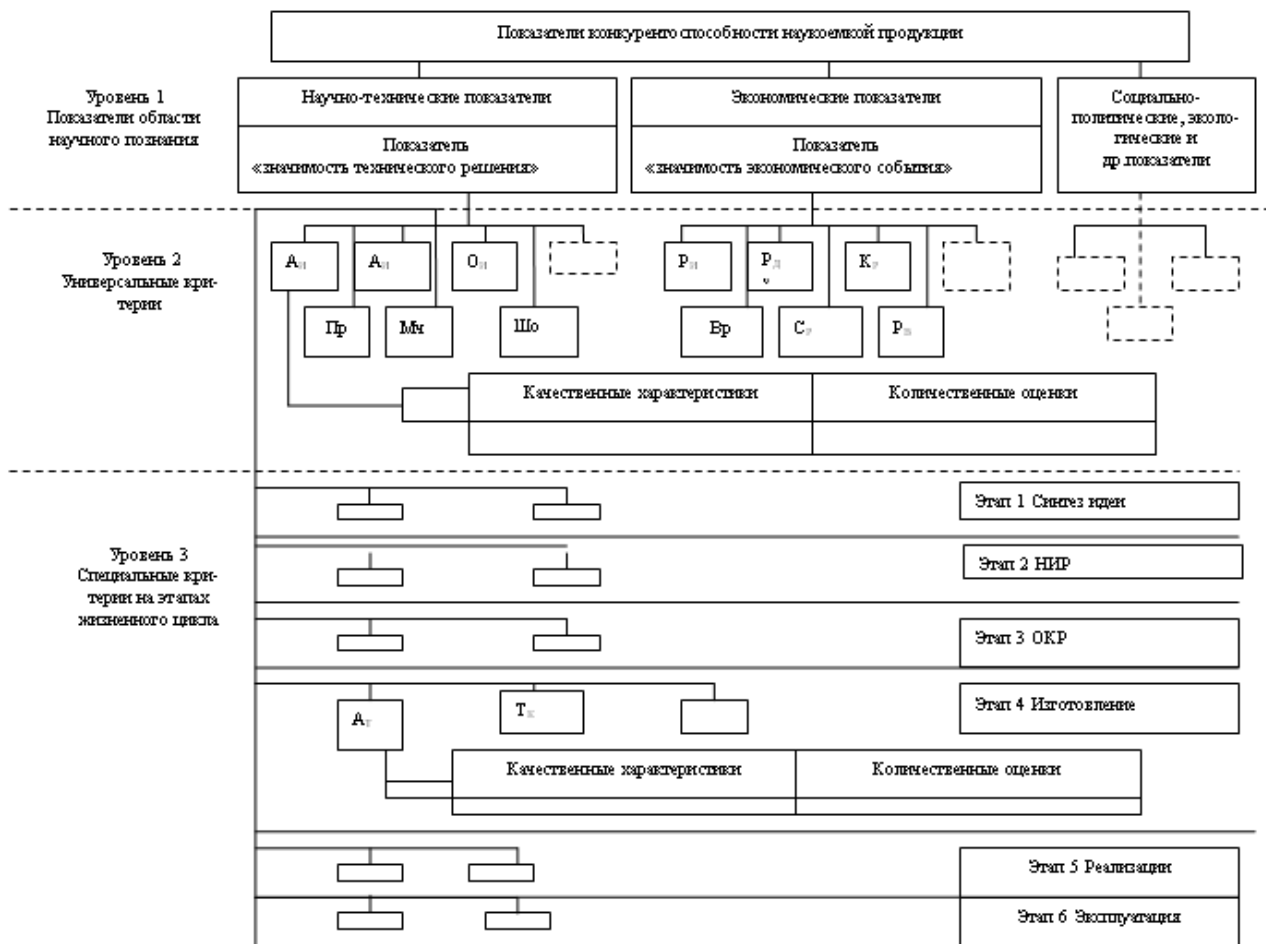
2. Интегральные характеристики нового продукта общего назначения и каждой области наук (актуальность, важность для научно-технического прогресса, распространенность, защищенность и т.д.);

3. Конкретные критерии новой продукции, соответствующие ресурсам (людям, капиталу, материалам, технологии и информации) и этапам жизненного цикла (идея, НИР, ОКР, изготовление, реализация и эксплуатация).

Предлагаемый показатель конкурентоспособности продукции – численный показатель, полученный

агрегированием количественных значений показателей всех уровней с использованием аддитивно-мультипликативного метода – сложением показателей конкурентоспособности первого уровня, однородные качественные критерии второго и третьего уровней которых формируются в группы, и количественные значения их разнородных качественных критериев суммируются [3].

Структура, показатели и способ агрегирования по сравнению с существующими показателями имеет следующие преимущества:



Классификация показателей конкурентоспособности наукоемкой продукции предприятий машиностроительной отрасли

1) Способ агрегирования критериев на основе аддитивно-мультипликативного метода обладает достаточной гибкостью, так как предусматривается возможность адаптации базовых таблиц оценки под цели конкретного исследования расширением качественных и количественных уровней критериев и увеличением количества функциональных таблиц;

2) Более широкий набор критериев нового продукта для экспертных оценок, учитывающий все этапы жизненного цикла. Широкие возможности разработки адекватных математических моделей

нового продукта и программных средств обработки экспертных оценок.

Очевидно, что процесс создания конкурентоспособной продукции практически на всех этапах жизненного цикла всегда противостояние, по крайней мере, двух желаний, мнений, аналогов, устройств, технологий и т.п. Факт противостояния в философском представлении о диалогичности мышления и его методологическом значении для инженерно-прикладных разработок [4] может быть понят как противоречие или диалог между производителем и потребителем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фатхутдинов Р.А. Конкурентоспособность организации в условиях кризиса: экономика, маркетинг, менеджмент. М.: Маркетинг, 2002. 892 с.

2. Хайес-Рот Ф., Уотерман Д., Ленат Д. Построение экспертных систем. М.: Мир, 1978. 250 с.
3. Осипов Ю.М. Конкурентоспособность наукоемкой машиностроительной продукции: экономика и менеджмент. Томск: Изд-во ТУСУР, 2002. 247 с.
4. Терехов А.И. Математическое моделирование конкуренции в сфере НИОКР (обзор) // Экономика и математические методы. 1999. Т. 35. № 1. С. 67-69.

УДК 622:621.962.74

ЖЕТЕСОВА Г.С.,  
БУЗАУОВА Т.М.

### Экспериментальные исследования износа эксцентрика

Повышение качества и надежности машин – необходимое условие развития машиностроения. Надежность машин обеспечивается в первую очередь при достижении высокого качества материалов с требуемым уровнем механических свойств. Чаще всего главная причина выхода машин из строя – износ подвижных сопряжений [1].

В нашем случае изнашиванию подвергается эксцентриковый узел КМДТ-2200, выполненный из стали 35Л. Как видно из вышеизложенного, на износ детали влияют в первую очередь физико-механические свойства материала и механическое качество поверхностного слоя и только затем условия работы изделия.

К факторам, влияющим на внешнее трение детали, которое и приводит к износу, можно отнести: природу трущихся тел, смазочный материал, нагрузку, скорость, температуру.

Износ, достаточный для выхода эксцентрика из строя, достигает всего 5-6 мм. Срок износа нового изделия и восстановленного различается в два раза, соответственно 8 и 16 месяцев.

По кинематическому признаку установим направление и взаимное расположение трущихся частей. Согласно установленной схеме (рисунок 1) и таблицам взаимодействия кинематических пар определяем, что движение будет однонаправленным по образующей, то есть схема будет 1.1.С (таблица 1) [1].

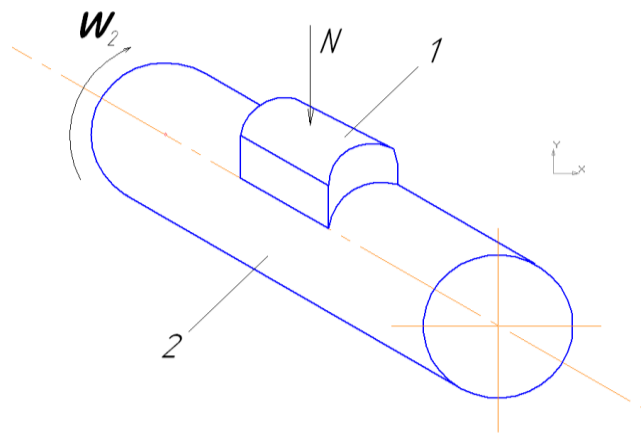
Основными критериями оценки триботехнических характеристик являются интенсивность изнашивания и коэффициенты трения. По ГОСТ 27674-88 интенсивность изнашивания – отношение толщины изношенного слоя к пути, на котором происходило изнашивание [2]. То есть интенсивность изнашивания:

$$l = h/L, \tag{1}$$

Таблица 1 – Основные кинематические типы сопряжений

Форма и взаимоположение деталей сопряжения	Характер относительного движения и сопряжений		
	поперек образующей		вдоль образующей
	однонаправленное	знакопеременное	знакопеременное
1. Внутреннее касание неплоских поверхностей («цилиндр-цилиндр», «сфера-сфера») с близкими значениями радиусов кривизны	1.1. Радиальный подшипник скольжения, тормоз-колодка	1.2. Радиальный шарнир, сферический шарнир, винт-гайка	1.3. Кольцо-гильза, цилиндра, направляющая втулка-толкатель
2. «Плоскость-плоскость»	2.1. Осевой подшипник скольжения (подпятник), торцовое уплотнение	2.2. Осевой шарнир, торцовое уплотнение шарнира	2.3. Кольцо-канавка поршня, направляющие типа «ласточкин хвост»
3. Внешнее касание неплоских поверхностей с разными радиусами кривизны	3.1. Зубчатое зацепление, кулачок-толкатель, тело качения-обойма	3.2. Реверсивное зубчатое зацепление, направляющая-тело качения	3.3. Направляющая-тело качения

где  $h$  – величина изношенного слоя, мм;  
 $L$  – путь трения при конкретных оговариваемых условиях испытаний.



1 – образец-ролик; 2 – образец-колодка  
Рисунок 1 – Схема трения в сопряженной паре эксцентрик-втулка

Для пар трения вращательного движения по схеме «колодка – ролик» при определении потери массы каждого из испытуемых образцов интенсивность изнашивания определяют по следующим формулам.

Для образца-ролика за период испытаний с числом оборотов  $n$  интенсивность изнашивания

$$l = \frac{h}{L} = \frac{\Delta q}{2\pi R n F \gamma}, \tag{2}$$

где  $h$  – средняя толщина изношенного слоя образца-ролика за  $n$  оборотов;

$\Delta q_1$  – потеря массы образца за  $n$  оборотов;

$R$  – радиус образца-ролика;

$F = lb$  – номинальная площадь контакта пары;

$l$  – размер образца-колонки и в направлении относительного перемещения;  
 $b$  – размер образца-колонки в направлении, перпендикулярном относительному перемещению;  
 $\gamma$  – удельная плотность материала образца-колонки.

Согласно предложенной схеме, найдем входящие параметры для эксперимента. Для определения интенсивности изнашивания эксцентрика при проведении эксперимента создадим образцы.

Согласно ГОСТ 23.224-86 рекомендуется использовать типовые машины трения СМТ-1 и УМТ-1. В связи с отсутствием данного оборудования имеет смысл для данной кинематической пары использовать оборудование с одним вращательным и одним поперечным движением. Таким оборудованием может служить любой универсальный токарный станок. Так как сопряжение двух деталей должно лежать по образующей их соответственно по внешней и внутренней окружности согласно рисунку 1. Выбираем токарно-винторезный станок 16К20,

который может обеспечить нам схему взаимодействия двух сопряженных деталей (рисунок 1).

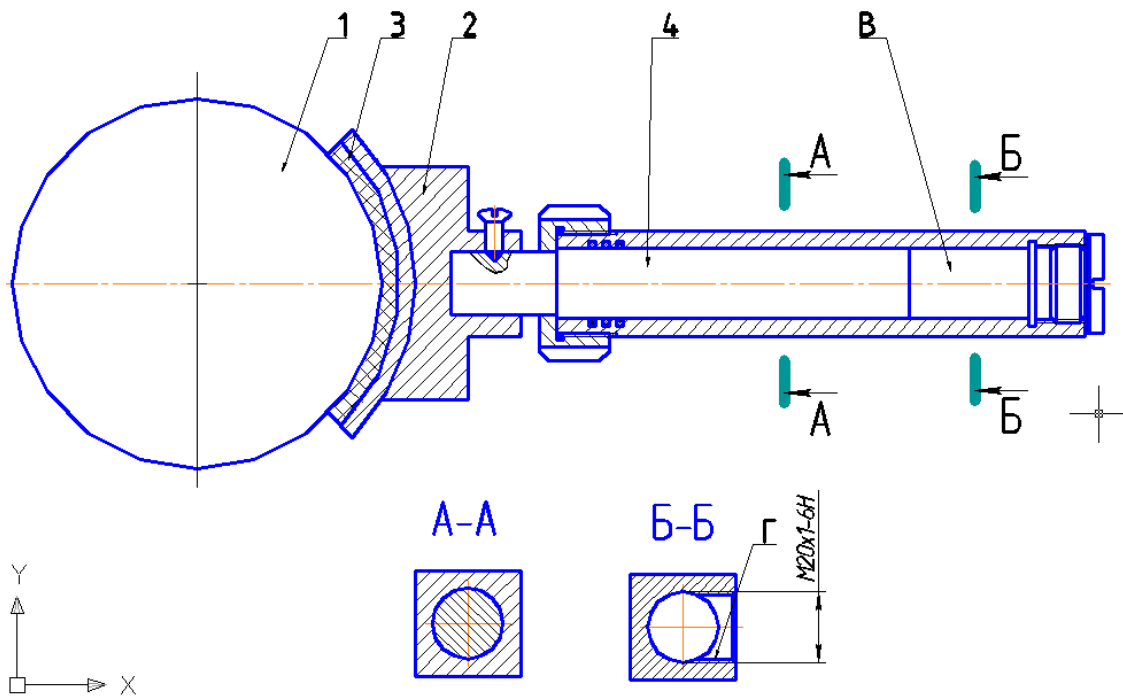
Для обеспечения такой схемы на станке, то есть для контроля значения силы прижима сконструируем приспособление, показанное на рисунке 2.

Поставим задачу описания зависимости интенсивности изнашивания от нагрузки  $P$  ( $x_1$ ), времени  $t$  ( $x_2$ ), диаметра образца  $D$  ( $x_3$ ). В качестве математической модели принимаем неполную кубическую функцию:

$$M\{y\} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3. \quad (3)$$

Для получения оценок коэффициентов этого уравнения можно использовать полный факторный эксперимент типа  $2^3$ . Выберем основные уровни факторов, близкие к применяемым на производстве, а интервалы варьирования – исходя из реальных пределов колебаний значений факторов (таблица 2). Для трехфакторной задачи выборочное уравнение регрессии имеет вид:

$$\tilde{y} = \hat{M}\{y\} = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{ij} b_{ij} x_i x_j + b_{123} x_1 x_2 x_3. \quad (4)$$



1 – испытуемый образец; 2 – державка; 3 – баббитовый слой; 4 – шток; В – жидкость; Г – отверстие для манометра

Рисунок 2 – Приспособление для испытания на интенсивность износа

Таблица 2 – Уровни факторов и интервалы варьирования

Уровень факторов	Обозначение	$P$ , Н	$t$ , мин	$D$ , мм
		$\tilde{x}_1$	$\tilde{x}_2$	$\tilde{x}_3$
Основной	0	1900	480	100
Интервал варьирования	$\Delta\tilde{x}_i$	100	60	5
Верхний	+1	2000	540	105
Нижний	-1	1800	420	95

Полный факторный эксперимент дает возможность найти отдельные оценки коэффициентов  $b$ .

Нахождение модели методом полного факторного эксперимента состоит: а) из планирования эксперимента; б) собственно эксперимента; в) проверки воспроизводимости (однородности выборочных дисперсий); г) получения математической модели объекта с проверкой статистической значимости выборочных коэффициентов регрессии; д) проверки адекватности

математического описания. Используя кодированные значения факторов (+1, -1), условия эксперимента можно записать в виде таблицы или матрицы планирования эксперимента, где строки соответствуют различным опытам, а столбцы – значениям факторов.

Матрица планирования для трех факторов приведена в таблице 3. В таблице 2 столбцы  $x_1, x_2, x_3$  образуют матрицу плана. Эти столбцы задают планирование – по ним непосредственно определяются условия опытов. Далее поместим столбцы с возможными комбинациями произведений факторов:  $x_2x_3, x_1x_3, x_1x_2, x_1x_2x_3$ , которые позволяют оценить эффекты взаимодействия факторов. Добавим в таблицу еще один столбец – фиктивную переменную  $x_0$  для оценки свободного члена  $p_0$ . Значение  $x_0$  одинаково во всех строчках и равно +1.

Таблицу, содержащую такие столбцы, называют расширенной матрицей планирования. Часто к ней добавляют столбец со значениями параметра оптимизации, т. е. с результатами опытов.

Проверка однородности дисперсий производится с помощью различных статистических критериев, из

всех дисперсий  $s_i$  находится наибольшая  $s_{i_{max}}$ , которая делится на сумму всех дисперсий по точкам. Критерий Кочрена – это отношение максимальной дисперсии к сумме всех дисперсий. В нашем случае, пользуясь таблицей 1, найдем:

$$G = \frac{0,37}{25,6} = 0,014. \quad (4)$$

По соответствующей таблице в работе [4] находим для  $f_{vmax} = 2, f_{знам} = 8$  степеней свободы и уровня значимости 5 %. Критическое значение  $G_{кр} = 0,5157$ . Гипотеза об однородности дисперсий принимается, если, как в нашем случае, экспериментальное значение критерия Кочрена не превышает табличного значения  $G < G_{кр}$ , т.е.  $0,014 < 0,5157$ .

Проверка значимости каждого коэффициента проводится независимо. Для этого можно использовать проверку по t-критерию Стьюдента. При использовании полного факторного эксперимента или регулярных реплик доверительные интервалы для всех коэффициентов равны друг другу.

Проведем оценку адекватности в нашем примере, пользуясь данными расчетной таблицы 2:

$$s_{aa}^2 = \frac{r}{n-m} \sum_{g=1}^n (\bar{y}_g - \hat{y}_g)^2 = \frac{3 \cdot 25,6}{8-4} = 19,2.$$

Так как в нашем случае  $s_{aa}^2 > s^2 \{y\}$  ( $19,2 > 0,09$ ), то адекватность модели рассчитываем по критерию Фишера. Ввиду того, что в нашем случае оказались значимыми все коэффициенты при взаимодействиях и, следовательно, число коэффициентов модели  $m = 8$ , то тогда не остается ни одной степени свободы для оценки адекватности. Оценим значимость коэффициентов при членах второго порядка:  $|b_{ij} - \bar{y}_0| = |1,854 - 1,773| = 0,081$ .

Эта величина меньше, чем ошибка эксперимента  $s = \sqrt{0,09} = 0,095$ , из чего следует, что квадратичные эффекты пренебрежимо малы и поэтому линейную модель можно считать адекватной.

Таблица 3 – Матрица планирования и результаты испытаний образцов, изготовленных из стали 35Л

Точка плана	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$\bar{y}_g$	$s_g^2$	$\hat{y}_v$	$(\bar{y}_g - \hat{y}_g)^2$
1	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	0,01	1,89	2,53
2	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,73 \cdot 10^{-4}$	0,013	1,76	2,96
3	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,93 \cdot 10^{-4}$	0,003	2,02	3,72
4	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	0,01	1,98	3,2
5	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,13 \cdot 10^{-4}$	0,003	1,81	4,54
6	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,27	1,70	2,04
7	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,23 \cdot 10^{-4}$	0,043	1,86	4,8
8	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,37	1,80	1,77
$\bar{y} = 1,85 \cdot 10^{-4} \quad \sum s_g^2 = 0,723 \quad \sum = 25,6$							

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Методы испытания на трение и износ: Справ. изд. / Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева, А.Г. Колмаков, Л.М. Рыбакова. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 152 с.: ил.
2. ГОСТ 27674-88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения.
3. Кацев А.П. Статистические методы исследования режущего инструмента. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1974.
4. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1965.

## Раздел 2

## Геотехнологии. Безопасность жизнедеятельности

ӘОЖ 622.271

СӘБДЕНБЕКҰЛЫ Ө.,  
ТАХАНОВ Д.К.,  
ҚОЖАС А.К.,  
ЖУНУСОВА Г.Е.,  
ҚАПАСОВА А.З.

### Кені алынған кеңістіктегі төбекентірекке келетін бүйір қысымның шамасын анықтау

Еңістігі күрт кенорындарда кенді ашық кеңістікпен қазу жүйелерінде, бүйір қапталдардағы таужыныстардың орнықтылығын сақтау үшін, төбекентіректер қалдырылады. Бұл кентіректердің ендері кеншоғырдың қалыңдығымен анықталатын болса, ал биіктіктерінің шамасын анықтау, осы кезге дейін күрделі мәселенің біріне жатады.

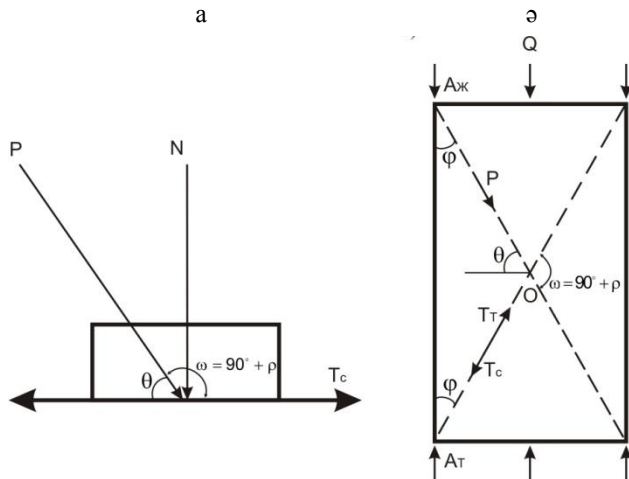
Төбе кентіректердің ендерінің орнықты және тиімді шамасын анықтау үшін, кентіректерге түсетін салмақтың шамасын алдын ала анықтай білу керек.

Кентіректерге түсетін салмақты геологиялық қимаға сырғу беттерді салу арқылы табады [1]. Күртеністі кеншоғырлардағы кентіректерге келетін қысымды анықтау, жазық немесе еңкіш кеншоғырлардағы жағдайлардан әлдеқайда күрделі. Олай болатын себебі, жердің тік кескінінде, сырғу беттерді салу арқылы табылған көлемдердің жылжуының физикасы өзгеше болады.

Сондықтан, ең алдымен таужыныстардағы ығысудың физикасына тоқталған жөн. Ол үшін денелердің өзара үйкелісінің заңдылығына жүгінсек, бір дененің үстінде жатқан екінші денеге түсетін  $P$  салмақтан

олардың арасындағы бетте, егер ол көлбеу болса, нормаль  $N$  мен жанама  $T$  күштері пайда болатыны белгілі.  $T$  күші денелердің беттеріндегі тежеуші  $T_T$  күшпен теңескенде, олар бірінің бетімен бірі сырғу алдындағы шектік тепе-теңдік жағдайда болады. Енді  $P$  мен  $N$  күштерінің арасындағы бұрышты ұлғайта бастасақ, жазық беттегі  $M$  дене жылжи бастайды (1,  $a$  - сурет). Осы көлбеулеткен  $P$  күші мен жылжу бағытының арасындағы бұрыш  $\omega = 90^\circ + \rho$  құрайды. Осы физикадан белгілі [2] заңдылықтың геометриялық мәнін қарастырсақ денелердің қозғалу беттері мен оларға қойылатын  $P$  күшінің бағытының арасындағы бұрыштың мәні  $\omega = 90^\circ + \rho$  екенін байқаймыз. Енді  $P$  күштің өзін  $Q$  күшінің туындысы және тұрақты түсіп тұрған салмақ болсын. Осы салмақтан үстіңгі дененің тұтастығы бұзыла алады деп қабылдаймыз. Сонда  $Q$  күшінің ықпалымен бұзылған үстіңгі дене астыңғының бетімен жылжуы керек. Ол үшін жоғарыда айтылған  $\omega = 90^\circ + \rho$  шартының орындалуы қажет. Ал үстіңгі денеде алғашқыдай  $P$  күшінің бағытына сәйкес күш болуы керек және оның сырғуының табиғаты тағы да  $T$  күшіне ұқсас. Сонда үстіңгіде де, астыңғыда да бір

біріне тең екі жанама күштер пайда болғанда үстіңгі дененің сырғу бетінде бұрынғы  $P$  күштің орнына астыңғы дененің бетіндегі сырғуды тежеуші  $T_T$  күшке тең, бірақ оны сырғытуға ұмтылатын,  $T_C$  күші пайда болады. Бұл  $T_T$ ,  $T_T$  күштердің екеуі де сырғу беттердегі жанама күштер және дененің бөлінген бөлігі астыңғы дененің бетімен сырғи алады. Сонымен, үстіңгі екеуінің араларындағы бұрышы  $\omega = 90^\circ + \rho$  тең (1, а - сурет).



а – екі дененің арасындағы үйкеліс күштер;  
э – үлгідегі сырғу беттердің түзілуінің табиғаты  
1-сурет – Таужыныстардың ығысуының физикасының тәсімдері

Енді таужыныстан жасалған үлгінің бұзылуының геометриясын қарастырсақ, жоғарыда айтылғандай үлгіні сынағанда пайда болатын  $A_{жO}$ ,  $A_T O$  сырғу беттері  $O$  нүктесінде түйісіп,  $\omega$  бұрышымен бұзылатындығы айтылған [2]. Осы бұрыштың жартысы  $\theta = 45^\circ + 0,5\rho$ , ал сырғу беттерінің қойылған күштің бағытынан ауытқу бұрышы  $\varphi = 90^\circ - \theta$ , оны  $\rho$  мен өрнектегенде  $\varphi = 45^\circ - 0,5\rho$  болады. Бұл ғылымда бұрыннан белгілі таужыныстардың «сипаттамалық бұрыштары» [3] деп аталатын шамалар (1, э-сурет).

Алдымен камераның төңбе қапталындағы таужынысты қабаттағы пішінденудің шегарасы, 2-топтағы сырғу бетінің қисығымен геологиялық тілікке салынады (2-сурет). Сырғу беттің түзілуі таужыныстардың физика-механикалық қасиеттеріне және оның бойындағы тангенс кернеудің шамасына байланысты.  $K_{ж}Ж_1$  сырғу беті нормаль кернеудің бағытымен сәйкес болғандықтан  $K_{жс}$  нүктесіндегі  $\sigma_n$  кернеуінің шамасындай кернеу  $\omega$  бұрышымен кентіректерге түседі.

Алайда қабатаралық кентірекке түсетін салмақтың шамасы,  $ЖК_{жс}Ж_1$  көлемнен болатын салмақпен ғана шектелмейді. Олай болатын себебі, төменгі камераның ең төменгі шеткі  $K_m$  нүктесінен салынған сырғу беттен жоғары жатқан сілемнен келетін салмақ, кені алынған кеністіктің  $TK_m$  ашық бетіне толық түседі.

Осыдан келіп, кені алынған кеністіктердің (екі камераның) жоғарғы  $T$  және төменгі  $K_m$  аралықтарында басқа тіреніш болмағандықтан,  $ЖТК_{жс}K_mЖ_2$  көлемінен келетін салмақты, төбекентірек қабылдауға мәжбүр. Енді жоғарыда айтылғандай  $K_{жс}Ж_1$  беттегі кернеу ғана емес, сонымен бірге,  $K_mЖ_2$  беттегі нормаль кер-

неу, сырғу беттің еңістігінен  $\omega = 90^\circ + \rho$  ауытқитын бағытпен келіп түседі (2-сурет). Сонда  $K_{жс}A$  кесіндісі түрінде пайда болған сырғу беттің еңкіш бұрышының шамасы

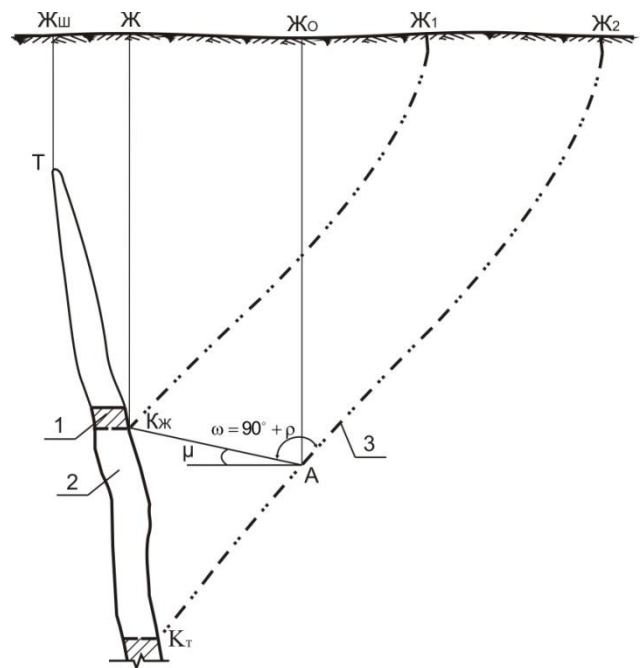
$$\mu = \alpha_{\text{нн}} + \omega - 180^\circ,$$

мұнда  $\alpha_{сб}$  – екінші топтағы сырғу беттің еңкіш бұрышы.

Белгілі болған осы  $\mu$  бұрышымен пайда болған сырғу бет, сырғу сызықтарының қисықтарының 4-тобына жатады.

Күртеңісті кеншоғырлардағы төбекентіректердің орнықтылықтары, оларға сілемнің тарапынан келетін бүйір қысымға шыдас беруімен сипатталады.

Олай болса, қарастырылып отырған тәсімдегі төбекентірекке бүйір қысым түсіретін  $ЖТК_{жс}K_mЖ_2$  көлемі болды, және оның шамасын анықтау үшін  $K_{ж}$  және  $A$  нүктелерінен жер бетіне дейін тік сызықтар жүргіземіз. Келесі кезекте пайда болған үш түрлі  $Ж_{ш}TK_{жс}Ж$  мен  $ЖК_{жс}AJ_0$  және  $Ж_0AJ_2$  көлемдердің аудандары анықталып, таужыныстардың көлемдік салмағына көбейткеннен, салмақтары анықталады.



1 – қабатаралық кентірек; 2 – кені алынған кеністік;  
3 – екінші топтағы сырғу беттердің қисықтары  
2-сурет – Еңістігі күрт кеншоғырды сілемдегі қисатын көлемдер

Ең алдымен  $Ж_0AJ_2$  көлемінің салмағы табылады

$$Q_c = \gamma S_{A_1 A E_2},$$

мұнда  $Q_c$  –  $Ж_0AJ_2$  көлемінің салмағы;

$S_c$  – сол көлемнің ауданы.

Осы  $Q_c$  күшінің бүйірлік қысымының еселігі  $H_{жс}$  тереңдігінен бастап  $A$  нүктесінің деңгейіне дейінгі аралықта бірнеше рет анықталып, осының орташа мәні  $Ж_0AJ_2$  көлемінің деңгей бағыттағы қысымының еселік түріндегі мәніне тең болғандықтан, деңгейлі қысымның шамасы

$$D_c = m_{opc} Q_c.$$



Енді осы табылған күштің кентіректің деңгейінде ықпалы болатын күштің мәні

$$P_c = m_{opc} Q_c m_a \quad (1)$$

$ЖК_{жс}АЖ_0$  көлемінің салмағы  $\gamma H$  түрінде табылады. Сонда (1) теңдікті,  $K_{жс}А$  бетінің  $K_{жс}$  мен  $А$  нүктелерінің арасындағы деңгейлік ұзындығына бөліп,  $\gamma H \cos \mu$  – ға қосқаннан тік кернеудің мәні анықталады

$$\sigma_\delta = m_{opc} Q_c m_a / L_{ке А} + \gamma H \cos \mu, \quad (2)$$

мұнда  $H$  –  $K_{жс}$  мен  $А$  нүктелерінің тереңдіктерінің орташа мәні.

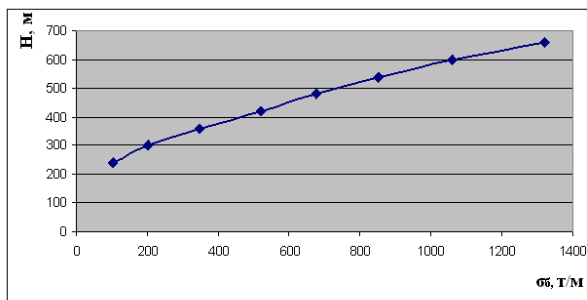
Анықталған бұл  $\sigma_m$ ,  $ЖК_{жс}АЖ_2$  көлемінен болатын тік кернеудің шамасын білдіреді, және кентірек жаққа түсетін деңгей бағыттағы кернеудің шамасы, көлденең қысым еселігіне көбейткеннен кейін

$$\sigma_a = (m_{opc} Q_c m_a / L_{ке А} + \gamma H \cos \mu) m_{at} \quad (3)$$

болады. Мұндағы кентіректің деңгейіндегі бүйір қысым еселігі мықтылық құжаттан анықталады. Ол үшін, (2) теңдіктегі  $\sigma_m$  кернеуі мықтылық құжаттың деңгейлі өзек сызығының бойына салынады. Осы  $\sigma_m$  кернеуді салудан табылған нүктені шеттік шеңбердің ең шеткі нүктесі ретінде қабылдап, орта нүктесі мықтылық құжаттың деңгейлі өзек сызығының бойында жататын және орам сызыққа жанама болатын шеңбер жүргізіледі. Жүргізілген соңғы шеңбердің деңгейлі өзек сызықпен, өзек сызықтардың басталар нүктесі 0 жағындағы, қиылысқан нүктенің 0-ден қашықтығының  $\sigma_m$  кернеуге қатынасы  $m_{до}$ -ға тең болады.

Жоғарыда көрсетілген (2-3)-теңдеулерді пайдаланып, «Белюсов» кенорнының жағдайына тән, еңістігі  $\alpha=80^\circ$  және сілемді құрайтын таужыныстар біртекті күкіртті кварцты тақтатастар болғандағы, екі камераның айналасындағы сілемнен, кентірекке келетін

бүйір қысымның шамасының тереңдікке тәуелділігі есептелді (3-сурет).



3-сурет – Салмағы төбекентірекке түсетін таужынысты қабаттың кернеулену шамасының тереңдікке тәуелділік графигі

Қарастырылған мәселе бойынша келесідей қорытынды жасауға болады:

1. Төбекентірекке түсетін салмақ, бұған дейін көптеген зерттеулерде айтылып келгендей, кентіректің деңгейіндегі және одан жоғары жатқан сілемнің көлемінен ғана туындамайды екен, сонымен бірге кентіректен төмен жатқан қапталды түзейтін таужыныстардың да қандай да бір көлемі келіп түседі.

2. Кентіректен төмен орналасқан камераның төменгі шеткі нүктесіне келіп түсетін нормаль кернеудің бағытынан (екінші топтағы сырғу бет),  $\omega = 90^\circ + \rho$  бұрышымен ауытқи түзілетін 4-топтағы сырғу бетті пайдаланып, төбекентірекке келетін қысымның шамасын анықтауға болады.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Сәбденбекұлы Ө. Кентіректердің мықтылығын есептеу және оның физикасы: Оқу құралы. Жезқазған: ЖезУ, 1998.  
 2. Сәбденбекұлы Ө. Геомеханика // Инновациялық орталық № 1. ҚР. Қарағанды: САНАТ-Полиграфия, 2009. 450 б.  
 3. Машанов А.Ж. Механика массива горных пород. Алма-Ата: Наука, 1961. 210 с.

**УДК 622.831**

**ДЕМИН В.Ф.,  
ИСАБЕК Т.К.,  
ДЕМИНА Т.В.,  
БАЙМУЛЬДИН М.М.**

**Разработка прогрессивных технологических схем проведения подготовительных выработок с анкерным креплением**

В настоящее время горные работы на шахтах Карагандинского бассейна ведутся на глубине 500-800 м. С учетом давления горной массы, одной из проблем является сохранение в рабочем состоянии выработок, прилегающих к лавам. При этом устойчивость выработок зависит от таких факторов, как характеристики вмещающих пород, вид и плотность крепления, места заложения выработок и их ориентация в массиве к действующим напряжениям.

Породы кровли в проводимых выработках имеют невысокую прочность и при обнажении более одного метра обрушаются. При этом породы склонны к размоканию и пучению. В тектоническом отношении

разрабатываемые пласты являются сложными. Широкое внедрение технологических схем бесцеликовой выемки пластов обусловило высокие затраты на поддержание выработок, необходимость проведения новых выработок вприсечку к выработанному пространству.

В настоящее время на шахтах департамента большинство горных выработок крепится металлической крепью, которая практически является ограждающей и служит для удержания отслаивающейся массы пород. Однако даже при тщательной забутовке традиционно применяемая в подготовительных выработках рамная крепь не всегда может предотвратить прогиб пород кровли.

Переход на анкерное крепление обеспечивает совершенно другое геомеханическое состояние выработок, поскольку при этом отсутствует расслоение пород в кровле, и из-за опорного давления на почву выработки за счет местных напряжений, создаваемых рамной крепью, происходит пучение пород почвы в выработке.

Время совершенствования и внедрения анкерного крепления можно разделить на этапы: анкерных клиновых типа, т.е. распорных или фрикционных анкерных; сталеполимерных анкерных (металлический гладкий или рифленый стержень, закрепляемый в шпуре при помощи химических смол); гибких канатных анкерных, или, как их именуют в настоящее время, анкерные глубокого заложения, анкерные второго уровня. Глубина их установки – 3-7 м. Технологически они могут служить для крепления оконтуривающих выемочных столбов горных выработок в зонах повышенного горного давления, в зонах опережающего горного давления впереди очистного забоя, что значительно повышает безопасность труда на концевых участках очистного забоя, для крепления различных камер, для подвески балки монорельсовых дизельных дорог и т. д.; замены металлических стержней, подхватов и металлической сетки для перетяжки кровли, боков горных выработок на стеклопластиковые или изготовленные из других искусственных материалов (рисунок 1).

Особенность схемы управления горным давлением при анкерном креплении в проводимых выработках заключается в том, что эпюра максимума опорного давления практически всегда на линии забоя и обеспечивает устойчивое равновесное состояние приконтурных пород. Момент сопротивления заанкерированной породной балки в 3-4 раза больше, чем у незакрепленной.

Преимущества технологии анкерного крепления очевидны: сокращение расходов на крепление,

повышение безопасности работ, сокращение объемов транспортировки материалов, эффективное использование сечения выработок, упрощение концевых операций на сопряжениях лав со штреками.

Наиболее полно отвечают требованиям крепления выработок сталеполимерные анкерные, представляющие собой металлические стержни, закрепляемые в шпурах растворами на основе смол или цемента. При использовании данных анкерных с закреплением по всей длине шпура увеличивается агрегатная прочность массива горных пород и создается несущая балка, оказывающая высокое сопротивление нагрузкам и напряжениям.

Дальнейшее расширение анкерного крепления планируется через применение тросовых, полимерных, пучковых и самозабуривающихся анкерных.

В соответствии с инструкцией по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского угольного бассейна шахты должны принимать оперативные меры по корректировке паспорта анкерного крепления выработок. Это, прежде всего, касается применения анкерных большей длины, несоответствие которых на шахтах приводит к снижению качества крепления и повышению трудозатрат.

Нами разработаны прогрессивные технологические решения по системам анкерного крепления и созданы рабочие чертежи на изготовление отечественных конструкций. Это анкер с внутренним отверстием (или внешней насечкой) (рисунок 2). Внутренние отверстия (или внешняя насечка) в анкере разработаны для подачи закрепляющего состава в шпур через отверстия (или через пластмассовые трубки в насечках) после его установки, что позволит концентрированно распределять скрепляющий состав по



Рисунок 1 – Направления совершенствования анкерного крепления горных выработок поверхности шпура, эффективнее закрепить анкер к прилегающим породам и улучшить его прочностные характеристики.

Угловый подхват с отверстием (рисунок 3). Данный вид крепи применяется в подготовительных выработках непосредственно у груди забоя, что позволяет обезопасить от выпада негабаритов (раскоски) и за счет конструктивных особенностей (уголок с отверстиями) позволяет равномерно распределить нагрузку на анкеры в дальнейшем и эффективнее использовать данную крепь.

Регулируемый металлический подхват (рисунок 4). Металлический подхват разработан для крепления кровли, пластины с помощью трубок могут передвигаться вдоль металлического стержня, что позволяет менять место установки анкера, в частности, если имеются геологические нарушения, а также за счет металлического стержня равномерно распределяется нагрузка на крепь.

Соединительная муфта для анкерной крепи (рисунок 5). Соединительная муфта для анкерной крепи предназначена для увеличения длины анкера, что

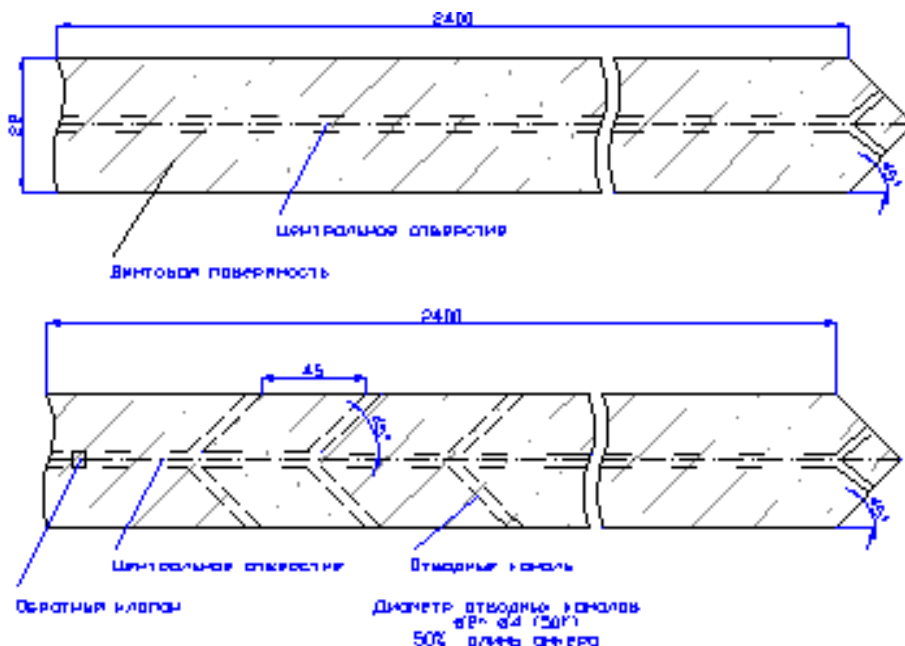
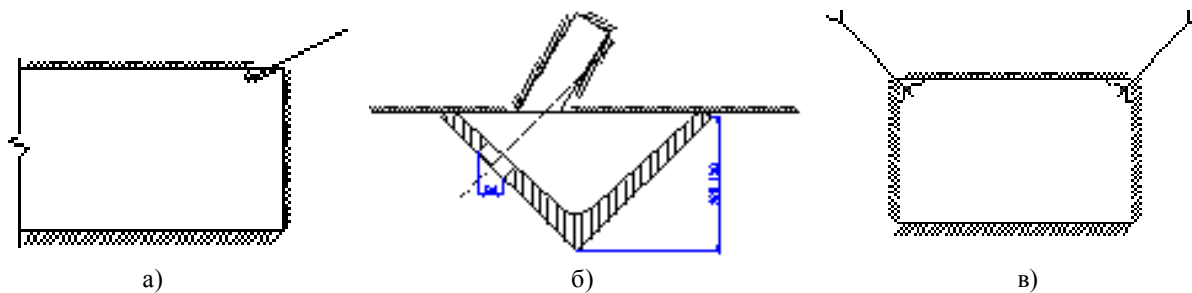


Рисунок 2 – Анкер с внутренним отверстием (или внешней насечкой)



а – крепление груди забоя; б – вида а; б – крепление боков выработки

Рисунок 3 – Угловой подхват с отверстием

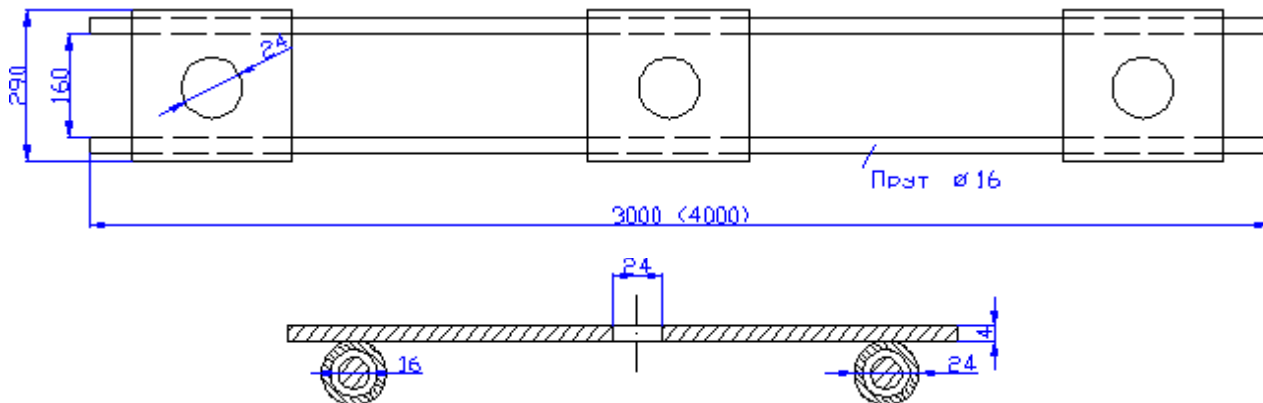


Рисунок 4 – Регулируемый металлический подхват

позволяет использовать данную крепь в различных условиях, а также через отверстия в муфте можно подавать в шпур закрепляющий состав.

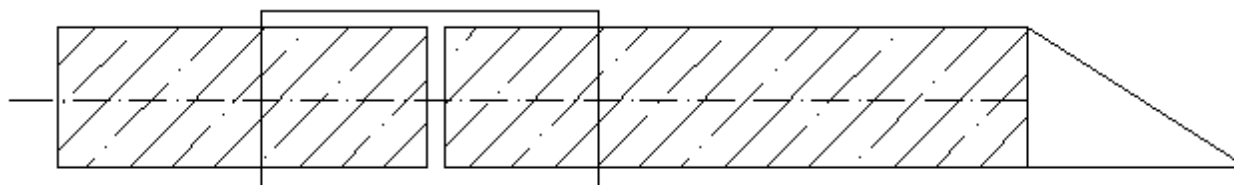
Наращиваемый стальной анкер (рисунок 6). Данная конструкция позволяет увеличить длину стального анкера, за счет чего появляется возможность использовать ее в различных горно-геологических условиях по составу и мощности приконтурных пород. Винтовая поверхность анкера обеспечит надежное закрепление анкера в шпуре, а через отверстие в центре анкера подается закрепляющий состав.

Буровая штанга для разбуривания внутренней поверхности шпура. Буровая штанга для разбуривания внутренней поверхности шпура позволяет при обратном ходе буровой штанги образовывать на внутренней поверхности полости шпура винтовую спиральную борозду, что позволяет повысить качество закрепления сталеполлимерного анкера в пробуренном шпуре.

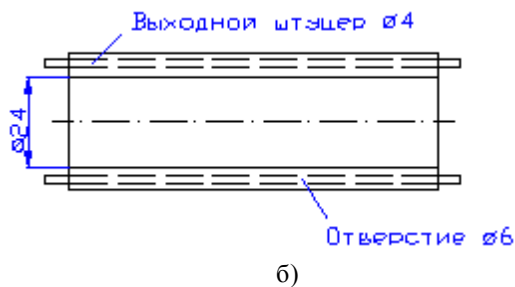
Канатный анкер предназначен для крепления горных выработок путем глубинного анкерования

окружающих пород. Закрепление канатного анкера производится при помощи полимерного состава или цементного раствора по всей длине шпура. Для контроля полноты заполнения шпура закрепляющим составом в конструкцию анкера введена центральная воздухоотводящая трубка. Нагнетание скрепляющего состава в шпур прекращают при появлении смолы из воздухоотводящей трубки. Канатный анкер состоит из 5-6 сплетенных проволок диаметром по 6 мм (или в тросовом исполнении) и установленной в середине (или по контуру) трубкой диаметром 6 мм и толщиной стенки 1,5 мм. Общий диаметр анкера составляет 15 - 25 мм, общая длина варьируется по необходимости. В качестве головки анкера используется втулка длиной примерно 120 мм с наружной резьбой М 30.

На машиностроительном заводе № 1 изготовлены опытные образцы систем (в количестве двух штук по каждому наименованию) анкерного крепления и доставлены на шахту «Саранская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау» для сравнительного испытания в течение июля-августа 2010 г. с лучшими зарубежными образцами анкерного крепления.



а)



а – общий вид наращиваемого анкера; б – соединительная муфта со штуцерами

Рисунок 5 – Соединительная муфта для анкерной крепи

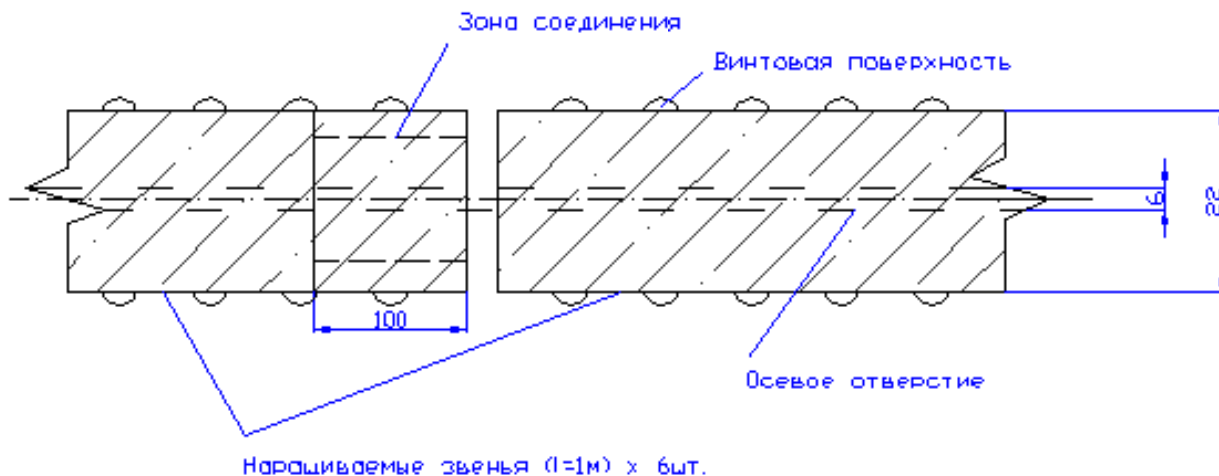


Рисунок 6 – Наращиваемый стальной анкер

УДК 622.831.325.2

ГАЛЕМСКИЙ П.В.,  
КАНИН В.А.

### Применение десорбиметрии при контроле эффективности защитного действия

В соответствии с действующим нормативным документом [1] контроль эффективности защитного действия опережающей подработки или надработки выбросоопасных угольных пластов производят по выходу буровой мелочи и начальной скорости газовыделения из шпуров глубиной не менее 5 м. При этом методе, в связи с увеличением глубины шпуров по сравнению с текущим прогнозом выбросоопасности, возникает ряд технологических затруднений для получения достоверных показателей оценки газодинамического состояния под- и надрабатываемых пластов.

Для разработки нового способа контроля эффективности был использован прибор ДШ-1 и метод десорбиметрии МакНИИ [2]. Экспериментальные исследования сорбционных показателей угольных пластов выполнялись в следующей последовательности. В каждом из забоев производилось бурение шпуров в направлении подвигания забоя выработки диаметром 42-43 мм на глубину 3-5 м. Определение показателей десорбции производилось по динамике выделения газа из буровой мелочи, получаемой в процессе бурения стандартным угольным резцом РУ без разделения

пробы на фракции по её размерам. Пробу угля отбирали в конце каждого метра бурения и помещали в штубоприемник емкостью 33 см<sup>3</sup> десорбиметра ДШ-1 и герметизировали крышкой. Отсчет по шкале микроманометра с пределами измерений от 2 до 300 мм рт.ст. производился через 10 с, продолжительность измерения давления на каждом из интервалов составляла 40 с. Десорбционный показатель рассчитывался как разность между конечным и начальным измерениями давления.

В первую очередь был проведен анализ влияния конструктивных параметров прибора и методики проведения измерений на ошибку характеристики интенсивности десорбции с точки зрения системы идеального газа в герметичном свободном объеме десорбиметра. Следует отметить, что анализ влияющих факторов, выполненный на данном техническом уровне прибора ДШ-1, без учета ряда термодинамических параметров десорбции является неполным, но, основываясь на полученных результатах, можно выдвинуть следующие требования к прибору:

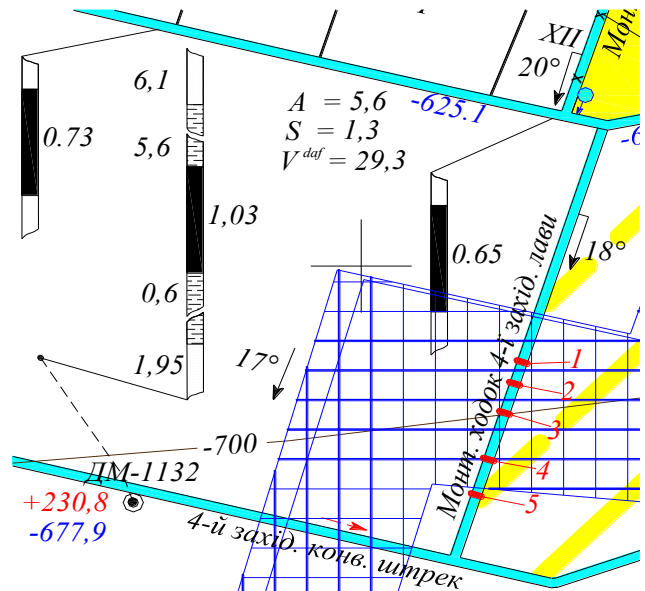
- обеспечение герметичности десорбиметра во время измерения;

- относительная ошибка измерения давления не должна превышать более 10 % во всем диапазоне;
- свободный объем десорбметра должен быть не менее  $6,5 \times 10^{-6} \text{ м}^3$  ( $6,5 \text{ см}^3$ ) при среднеквадратическом отклонении величины объема пробы  $mV = 0,2 \times 10^{-6} \text{ м}^3$  ( $0,2 \text{ см}^3$ ) или  $V = 0,5 \times 10^{-4} \text{ м}^3$  ( $50 \text{ см}^3$ ) при  $mV = 0,5 \times 10^{-6} \text{ м}^3$  ( $0,5 \text{ см}^3$ ) во всех сериях экспериментов;
- конструкция прибора должна минимизировать теплообмен пробы угля с окружающей средой.

На шахте им. А.Ф. Засядько были проведены измерения интенсивности десорбции (рис. 1) в 4-й западной лаве пл.  $l_4$  (в защищенной зоне) и в монтажном ходке лавы (в незащищенной зоне). Горно-геологические характеристики объекта исследований приведены в табл. 1. Результаты измерений представлены на рис. 2 (с учетом контроля герметичности десорбметра).

Таблица 1 – Горно-геологические характеристики объекта исследований на шахте им. А.Ф. Засядько, 4-я западная лава пласта  $l_4$

Характеристика	Величина
Мощность пласта, м	0,9
Угол падения, град.	9-18
Коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова	0,8
Природная газоносность, $\text{м}^3/\text{т}$	17-20
Выход летучих веществ, %	31
Комплексный показатель метаморфизма	25



Даты бурения шпуров для отбора проб:  
1 – 22.06.07; 2 – 26.06.07; 3 – 03.07.07;  
4 – 12.07.07; 5 – 18.07.07


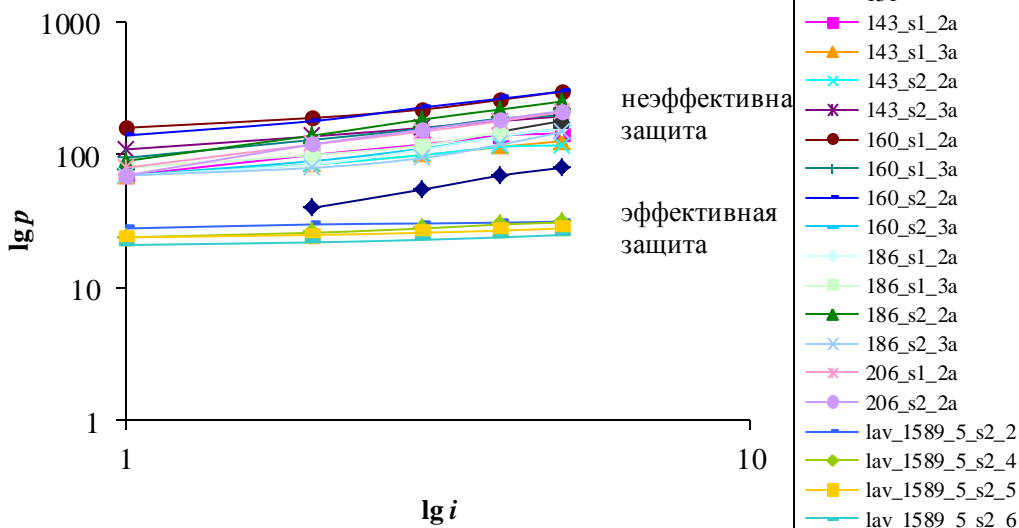
 – зона повышенного горного давления от краевой части 8-й западной лавы на защитном пласте  $l_1$ , незащищенная зона

Рисунок 1 – Выкопировка с плана горных работ пласта  $l_4$  шахты им. А.Ф. Засядько, 4-я западная лава

Для разработки метода контроля герметичности прибора во время измерений был проведен анализ экспериментальных данных измерения роста давления десорбирующегося газа из угля в закрытом объеме прибора. В результате регрессионного анализа установлена корреляционная связь вида:

$$p_i = A i^\beta, \quad (1)$$



143\_s1\_2 – 143 ПК монтажного ходка 4-й западной лавы пласта  $l_4$ ; s1 – шпур № 1, 2-й метр бурения; все данные по 4-й западной лаве измерены в нижней нише (ПК15+8,9 м откаточного штрека), для 2, 4, 5, 6 метров бурения; шкала времени – условная

Рисунок 2 – Результаты определения интенсивности десорбции  $\beta$  в двойных логарифмических координатах

где  $p_i$  – давление газа;

$i$  – условное время эксперимента,

соответствующее порядковому номеру отсчета  $p_i$ .

При этом средние коэффициенты корреляции для групп экспериментальных измерений в различных геомеханических зонах составляли не менее 0,97.

Следовательно отсутствие герметичности приводит к резким падениям давления, несоответствующим зависимости (1). Поэтому коэффициент корреляции может служить оценкой надежности результатов измерений с использованием критического значения, определяемого по уровню значимости с учетом точности и объема измерений. Разработанный метод контроля герметичности прибора во время измерения был внесен в руководство по эксплуатации разрабатываемого десорбметра нового поколения ДЭШИ УХЛ5 конструкции МакНИИ.

В соответствии с [2] защитное действие опережающей разработки следует считать эффективными, если

$$\Delta E_i < \Delta P_E = k \sum_{i=1}^n \Delta P_i, \quad (2)$$

где  $P_i$  – единичные определения прогностического параметра для проб, которые отобраны на незащищенных участках пласта;

$\Delta E_i$  – параметр, определенный на участках с контролируемой эффективностью защитного действия;

$k$  – коэффициент условий разработки, изменяющийся от 0,3 до 0,6, устанавливается опытным путем по согласованию с МакНИИ.

По результатам обработки данных (таблица 2) видно, что при любом значении  $k$  выполняется условие (2), т.е. критерий и методика в целом могут быть применимы в данных условиях.

Одним из недостатков рассмотренной методики является отсутствие вероятностной оценки надежности критерия в условии (2). Выходом из этого может быть проведение контроля эффективности за счет сравнения интенсивности десорбции на участках зон:

– с эффективной наработкой (подработкой), где была проведена оценка эффективности надежным методом, например, по показателю степени метаморфизма, учитывающего газоносность [3, п. 2.1.3; С. 19];

– с оцениваемой эффективностью.

Таблица 2 – Результаты обработки измерений интенсивности десорбции ( $\Delta P$ ) на шахте им. А.Ф. Засядько, пласт  $l_4$

Наименование показателей	Значение в различных геомеханических зонах	
	в защищенной	в незащищенной
Средние значения показателей при подработке на разных участках, мм рт. ст.	4,6	100,5
Объем групп, измерений	4	15
Среднеквадратическое отклонение групп, мм рт. ст.	1,60	38,32

Средние значения показателей при подработке на разных участках, мм рт. ст.	4,6	100,5
Объем групп, измерений	4	15
Среднеквадратическое отклонение групп, мм рт. ст.	1,60	38,32

В качестве характеристики интенсивности десорбции газа из буровой мелочи можно использовать показатель степени  $\beta$  в аппроксимирующей функции (1). Характеристика интенсивности десорбции  $\beta$  остается постоянной в течение 15 – 20 минут, следовательно менее зависит от времени отбора и герметизации пробы.

Буровую мелочь отбирают с помощью мензурки с фиксированным объемом, помещают в прибор и берут не менее четырех отсчетов давления через 10, 20, 30, 40 с после герметизации пробы. Время заменяется условными значениями  $t_i/10$  с, т.е. на 1, 2, 3, 4. Полученные данные аппроксимируют методом наименьших квадратов функцией вида (1).

Значения интенсивности десорбции группируются в две выборки из участков зон контролируемой и эффективной наработкой (подработкой). Сравнение средних параметров интенсивности десорбции в зонах эффективной и контролируемой эффективности проводится с использованием статистик Стьюдента и Фишера-Снедекора. Нарботка или подработка считается эффективной, если обе статистики не показали существенного различия интенсивности десорбции в различных зонах. В противном случае влияние подработкой или наработкой считается неэффективным.

Например, полученные данные разделены на две выборки для соответствующих геомеханических зон (рисунок 2). В результате статистической обработки данных были получены наблюдаемые значения критериев (табл. 3). Критическое значение критерия Стьюдента при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  составляет  $t_{кр}(17; 0,05) = 2,11$  [4], Фишера-Снедекора при  $\alpha = 0,05$  равняется  $F_{кр}(14; 3; 0,05) = 8,71$  ([4]). Таким образом,  $t_{набл} = 5,4 > t_{кр}$ ,  $F_{набл} = 17 > F_{кр}$ , что свидетельствует о значимом отличии параметров интенсивности десорбции газа в разных зонах и отсутствии защиты на участке проведения экспериментальных работ в монтажном ходе 4-й западной лавы (таблица 3).

Применение способа оценки эффективности, основанного, например, на контроле газоносности участков угольного пласта в различных геомеханических зонах, наряду с текущим десорбметрическим контролем эффективности даст возможность сочетать простоту, оперативность с надежностью установленных критических значений при статистической обоснованности методов и возможностью вероятностной оценки надежности принимаемого решения.

Таблица 3 – Сравнение величины показателя интенсивности десорбции  $\beta$  на защищенных и незащищенных участках пласта  $l_4$  шахты им. А.Ф. Засядько

Наименование показателей	Величина показателя
--------------------------	---------------------

Среднее значение показателя $\beta$ , мм рт. ст.	в защищенной зоне	0,108
	в незащищенной зоне	0,565
Наблюдаемый критерий Стьюдента $t_{набл}$	5,44	
Степень свободы $df$	17	
Вероятность $p$	0,00	
Критический критерий Стьюдента $t_{кр}$	2,11	
Количество определений $\beta$	в защищенной зоне	4
	в незащищенной зоне	15
Среднеквадратическая погрешность $\beta$ , мм рт. ст.	в защищенной зоне	0,039
	в незащищенной зоне	0,163
Наблюдаемый критерий Фишера-Снедекора $F_{набл}$	17	
Вероятность ошибки $p$	0,04	
Критический критерий Фишера-Снедекора $F_{кр}$	8,71	

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. СОУ 10.1.00174088.011-2005. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ. Прийнято та надано чинності: наказ Мінвуглепрому від 30.12.2005 р. № 145 – Вид. офіц. Київ: Мінвуглепром України, 2005. 225 с.
2. НАОП 1.1.30–5.06.89. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа / Минуглепром СССР. М., 1989. 191 с.
3. Правила визначення ефективності випереджального захисту пластів, схильних до газодинамічних явищ / Брюханов О. М., Коптиков В. П., Анциферов А. В., Рубінський О. О., Дрібан В. О., Канін В. О. та ін. // СОУ-П 10.00174088.016:20009. Надано чинності наказом Мінвуглепрома від 1 червня 2009 р. № 217. Київ, 2009. 37 с.
4. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. 4-е изд., доп. М.: Высшая школа, 1972. 368 с.

УДК 622.537.8:550.42:533.6

**КАНИН В.А.,  
ТАРАНИК А.А.,  
БРЮМ В.З.**

**Геохимический подход к проблеме прогнозирования аварийных ситуаций по газовому фактору**

Угольная промышленность Украины является важнейшей составляющей топливно-энергетического комплекса, обеспечивает сырьем и топливом энергетику, металлургию, химическую и ряд других промышленных отраслей. Переживая сложный период реконструкции, угольная промышленность после затишного периода падения объемов производства постепенно наращивает добычу угля и по праву становится одной из ключевых отраслей украинской экономики.

Со второй половины 70-х годов основное внимание уделялось освоению новых перспективных месторождений на востоке СССР. Основные финансовые и материальные средства направлялись на развитие добычи угля открытым способом, а в отношении Донецкого бассейна создавалось общественное мнение, что дальнейшая добыча угля здесь является неперспективной. В результате такой политики угольная промышленность Украины, десятилетиями формировавшая гигантскую индустрию, которая обеспечивала топливом европейскую часть СССР и половину союзной потребности в углях коксующихся марок, оказалась с массой нерешенных социальных проблем и самым старым (в СНГ) шахтным фондом. За весь послевоенный период в Донбассе было реконструировано менее одной трети шахт.

Все вышеперечисленное определило высокую аварийность и травматизм на шахтах Украины. Только за период с 1991 по 2000 годы включительно, несмотря на двукратное снижение добычи угля,

количество несчастных случаев составило 382 806, в том числе смертельных случаев – 3458.

Несмотря на выполнение различных мероприятий по повышению безопасности горных работ, вопрос аварий в угольных шахтах Украины остаётся достаточно актуальным. Поэтому сложившаяся ситуация указывает на необходимость пересмотра ряда старых и разработки новых подходов и стандартов по охране труда [1].

Чрезвычайно важным вопросом в проблеме обеспечения безопасного ведения горных работ в угольных шахтах является определение в составе газовых смесей тяжелых углеводородов и водорода, которые представляют значительно большую угрозу, чем метан, поскольку они характеризуются меньшей взрывоопасной концентрацией и меньшей температурой воспламенения. Так, если метан воспламеняется при температуре 530 °С, то этан и пентан соответственно при температуре 470 и 290 °С. Если метан начинает взрываться при его содержании в газозудной смеси 5 %, то этан и пентан соответственно при концентрации 2,9 и 1,1 %.

Таким образом, основным аспектом рассматриваемой проблемы безопасности горных работ является то, что в настоящее время вся аппаратура, контролирующая газовую обстановку в шахтах, контролирует ее только по содержанию метана, хотя уже имеются экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что общее содержание тяжелых углеводородов в газах угольных пластов марки Ж в юго-западной части Донбасса на глубинах свыше 500 м достигает 13-15 % [2], а в



отдельных случаях (в Красноармейском и Донецко-Макеевском районах) и 30 % [3].

Данная публикация является одной из серии статей, посвященных указанной проблематике. В ней обоснована теоретическая и практическая возможность влияния сопутствующих метану горючих газов на аварийную ситуацию в шахте. В первую очередь к таким газам относятся этан, пропан, бутан и водород.

Многолетними исследованиями, выполненными на шахтах Донбасса, в том числе и УкрНИМИ НАН Украины, установлено, что основными источниками газовыделения, провоцирующими аварийную ситуацию на угольных шахтах, являются тектонические нарушения. Заблаговременное прогнозирование этих нарушений и возможных последствий при их вскрытии является сложной задачей, которая к настоящему времени не имеет комплексного решения. Поэтому наряду с развитием геофизических методов прогноза тектоники необходимо развивать и геохимическое направление исследований по определению компонентного состава рудничных газов, выделяющихся в горные выработки угольных шахт [4].

В последние пять лет авторы исследовали изменение компонентного состава рудничных газов в зонах влияния крупных тектонических нарушений на шахтах «Краснолиманская» и им. А.Ф. Засядько.

Исследование компонентного состава газа, выделяющегося из горного массива, выполнялось в 11-м северном конвейерном штреке пласта  $k_5$  шахты «Краснолиманская» по мере приближения его забоя к апофизе Глубокоярского сброса с амплитудой 3,5 м. Амплитуда самого Глубокоярского сброса составляет от 20 до 86 м.

При подходе к одному из таких нарушений в июне 2007 г. по результатам текущего прогноза выбросоопасности в забое выработки была установлена опасная по выбросам зона, и как следствие – дальнейшее проведение выработки с выполнением противовыбросных мероприятий. При выполнении первого цикла гидрорыхления из шпуров, пробуренных для нагнетания воды, были отобраны и проанализированы пробы газа. Химический состав проб газа выявил наличие метана ( $CH_4$ ) – 92-98,5 %, этана ( $C_2H_6$ ) – 0,39-0,71 %, пропана ( $C_3H_8$ ) – до 0,36 %, бутана ( $C_4H_{10}$ ) – до 0,1 %, гелия (He) – 0,05-0,19 %, водорода ( $H_2$ ) – до 0,002 %.

При анализе данных, полученных по результатам геологоразведки на поле шахты им. А.Ф. Засядько, авторы отмечают характерные изменения компонентного состава рудничного газа в угольных пластах и вмещающих породах при подходе к тектоническим нарушениям. Так, на расстоянии 350 м от геологического нарушения в составе свободных газопроявлений наблюдалось содержание  $C_2H_6$  – до 1,63 %,  $C_3H_8$  – до 0,21 % и He – до 0,088 %. При исследовании восточной части шахтного поля шахты им. А.Ф. Засядько отмечена вариация  $C_2H_6$  – 0,12-3,65 %,  $C_3H_8$  – 0,11-0,63 %,  $H_2$  – 0,2-2,6 %.

Следует сказать, что признаки повышенной метанообильности и газодинамической активности в

зоне влияния Ветковского надвига проявлялись еще в процессе геологоразведочных работ. Так, при бурении геологоразведочной скважины № 3792 в 1962 г. в зоне влияния указанной синклинали складки с глубины 730 м из песчаной толщи  $N^3_1SN^5_1$  произошел выброс газоводяного фонтана, который функционировал около 15 суток. При ведении горных работ вблизи скважины № 3792 (в 150 м на запад) в 14-м западном конвейерном штреке 26.08.98 г. произошел внезапный выброс угля и газа [5].

При доработке разгрузочной лавы на глубине 1270 м 24.05.99 г. в результате внезапного выделения метана из выработанного пространства и взрыва его в откаточном штреке погибло 50 человек.

В зоне мелкоамплитудного нарушения ( $h = 0,6-1,7$  м) в пределах указанного выше тектонического нарушения, в 550 м по падению пласта от скважины № 3792, в 16-м западном конвейерном штреке на глубине 1300 м 23.02.01 г. при подрубке почвы пласта проходческим комбайном произошел внезапный выброс угля и газа интенсивностью 45 т и  $1750 \text{ м}^3$  – метана. Примечательно то, что этот выброс произошел вблизи (в 200 м) от пробуренной в 1987 году геологоразведочной скважины ДМ-1921, по которой из песчаника  $N^3_1SN^5_1$  в течение недели происходило интенсивное газовыделение с концентрацией метана 77,2 %.

Высокая степень газонасыщенности и газодинамической активности угленосного массива в зоне влияния Ветковской флексуры в районе 15-й и 16-й западных лав подтверждена также интенсивными газовыделениями из скважины ДМ-1933 (в 600 м от места последнего внезапного выброса). А 19.08.01 г. в 15-й западной лаве произошел взрыв метановоздушной смеси, в результате которого погибло 55 человек.

Рассматривая проблему взрывов рудничного газа в угольных шахтах, следует особенно подчеркнуть, что существующие на шахтах датчики термокаталитического действия тарированы исключительно по метану, а реагируют на все горючие газы, встречающиеся в рудничной атмосфере. Это, безусловно, затрудняет создание адекватной аварийной ситуации на участке. Поэтому для предупреждения вспышек и взрывов рудничного газа путём своевременного выявления опасных концентраций газовых смесей необходимо предусматривать отдельный контроль метана, тяжёлых углеводородов и водорода датчиками нового поколения.

В настоящее время практическое решение такой задачи может быть реализовано с использованием унифицированной телекоммуникационной автоматизированной системы (УТАС), разработанной ГП «Петровский завод угольного машиностроения» совместно с фирмой TROLEX Ltd (Великобритания). Основное назначение данной системы – управление безопасностью горных работ путем распознавания и прогнозирования предаварийных и аварийных ситуаций на начальных стадиях. Она включает в себя более 10 подсистем, осуществляющих управление горно-шахтным оборудованием. Для контроля

параметров машин, механизмов и окружающей среды в состав телекоммуникационных средств и устройств управления системы УТАС входит более 15 типов датчиков, установленных в подземных условиях. УТАС обеспечивает также передачу всей информации на поверхность горному диспетчеру и руководству шахты для принятия оперативных решений на базе постоянно накапливаемых и обрабатываемых данных.

Весьма важным обстоятельством является то, что УТАС представляет собой открытую систему и в случае необходимости ее можно доукомплектовывать новыми устройствами.

Использование в системе УТАС датчиков водорода, тяжелых углеводородов и ацетилена позволяет не только контролировать их содержание в атмосфере горных выработок, но и прогнозировать подход к зонам тектонических нарушений, являющихся коллекторами миграции горючих газов в горные выработки.

С одной стороны, такая информация позволит своевременно выполнять необходимые профилактические мероприятия для повышения безопасности работ, а с другой – выявлять в пределах шахтных полей действующих и закрывающихся шахт перспективные участки для попутной добычи метана.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров Н.Я., Анциферов А.В., Тиркель М.Г., Канин В.А., Брюм В.З., Моргунов Ю.Ю., Хороших Л.В. Возможности системы УТАС для диагностики аварийных ситуаций по газовому фактору // НАУКОВІ ПРАЦІ УКРНДМІ. Випуск 5 / Під заг. ред. А.В. Анциферова. Донецьк: УкрНДМІ НАН України, 2009. С. 503–512.
2. Мурич А.Т. О перспективах нефтегазоносности северной зоны мелкой складчатости Донбасса // Геология нефти и газа. 1979. № 3. С. 34–40.
3. Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. М.: Недра, 1979. Т. 1. 627 с.
4. Канин В.А., Тиркель М.Г., Тараник А.А., Брюм В.З., Моргунов Ю.Ю., Хороших Л.В. Датчики ацетилена в системе УТАС // НАУКОВІ ПРАЦІ УКРНДМІ. Випуск 5 / Під заг. ред. А.В. Анциферова. Донецьк: УкрНДМІ НАН України, 2009. С. 490–502.

УДК 550.834:622.12

ГЛУХОВ А.А.,  
КЕНЖИН Б.М.,  
КОМПАНЕЦ А.И.

### Влияние параметров тектонических нарушений на характеристики сейсмических волновых полей при использовании метода отраженных волн в шахтной сейсморазведке

Процесс добычи угля является одним из наиболее сложных по сравнению с разработкой других полезных ископаемых. Он связан с решением множества проблем, возникающих под влиянием разных факторов, главным из которых являются горно-геологические условия, от которых зависят рентабельность производства, применяемые технологии, эффективность и безопасность труда. Непредвиденные встречи тектонических нарушений при отработке угольных пластов приводят не только к экономическим потерям, но и являются причиной аварийности и травматизма. Поэтому их опережающий и достоверный прогноз чрезвычайно актуален. Традиционные геологические методы прогноза не удовлетворяют требованиям угольной промышленности. Альтернативными и более перспективными являются геофизические методы, в частности, методы шахтной сейсморазведки [1, 2].

Прогноз параметров тектонических нарушений угольных пластов сейсмоакустическим методом [1, 2] представляет собой сложную задачу, решение которой зависит от множества факторов. В данной статье изложены результаты анализа влияния параметров тектонических нарушений типа сброс на скоростные, частотные и амплитудные характеристики информативных волновых пакетов при использовании метода отраженных волн (МОВ).

В результате проведенных исследований было установлено, что характерные сейсмогеологические

разрезы угольных пластов можно разделить на две группы, в первой из которых волновод формируется непосредственно угольным пластом, а во второй – либо угольным пластом и залегающим в кровле или почве аргиллитом, либо сближенными (на расстоянии не более 4 м) пластами [3]. В связи с этим теоретический анализ структуры и характеристик волновых полей проводился на основе методов математического моделирования [4] для обеих групп.

Из геометрических соображений легко убедиться в том, что для оценки времени первого вступления верна следующая формула (приведен пример для боковой волны сжатия):

$$t_{p\text{ii}\delta} = 2 \frac{R}{V_{p\text{ii}\delta}} + 2l_{\text{ii}\delta} \left( \frac{V_{p\text{ii}\delta} - \bar{V}_{p\text{aii}}}{V_{p\text{ii}\delta} \times \bar{V}_{p\text{aii}}} \right), \quad (1)$$

где  $t_{p\text{nop}}$  – время первого вступления боковой волны сжатия;

$R$  – расстояние от источника колебаний до сместителя нарушения;

$V_{p\text{nop}}$  – скорость распространения волн сжатия в породе в ненарушенной зоне

$\bar{V}_{p\text{aii}}$  – средняя скорость распространения волн сжатия в породе в зоне аномалии;

$l_{\text{nop}}$  – ширина зоны повышенной трещиноватости пород. Выражения для иных типов волн можно записать аналогично (1):

$$t_{s\text{r}\ddot{\iota}\delta} = 2 \frac{R}{V_{s\text{r}\ddot{\iota}\delta}} + 2l_{\text{r}\ddot{\iota}\delta} \left( \frac{V_{s\text{r}\ddot{\iota}\delta} - \bar{V}_{s\text{a}\ddot{\iota}\ddot{\iota}}}{V_{s\text{r}\ddot{\iota}\delta} \times \bar{V}_{s\text{a}\ddot{\iota}\ddot{\iota}}} \right) \quad (2)$$

(для боковых волн сдвига),

$$t_{p\text{r}\ddot{\iota}\delta} = R \left( \frac{1}{V_{p\text{r}\ddot{\iota}\delta}} + \frac{1}{V_{s\text{r}\ddot{\iota}\delta}} \right) + \quad (3)$$

$$+ l_{\text{r}\ddot{\iota}\delta} \left( \frac{V_{p\text{r}\ddot{\iota}\delta} - \bar{V}_{p\text{a}\ddot{\iota}\ddot{\iota}}}{V_{p\text{r}\ddot{\iota}\delta} \times \bar{V}_{p\text{a}\ddot{\iota}\ddot{\iota}}} + \frac{V_{s\text{r}\ddot{\iota}\delta} - \bar{V}_{s\text{a}\ddot{\iota}\ddot{\iota}}}{V_{s\text{r}\ddot{\iota}\delta} \times \bar{V}_{s\text{a}\ddot{\iota}\ddot{\iota}}} \right)$$

(для обменных волн сдвига).

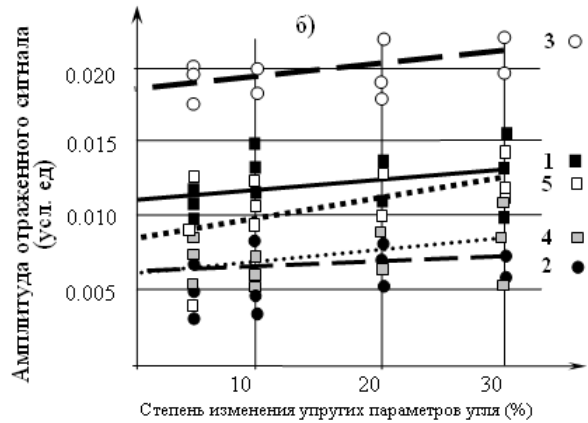
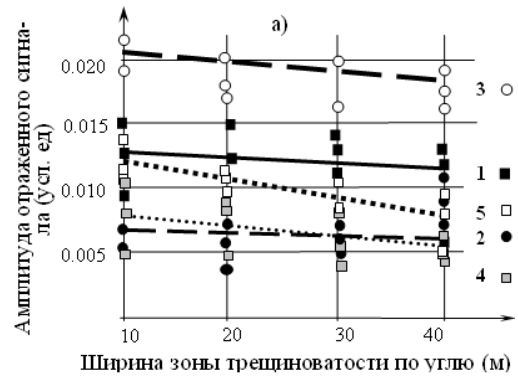
Обработка данных, полученных в результате математического моделирования, дает очень высокую степень соответствия времен прихода отраженных волн различных типов выражениям (1), (2) и (3). Для боковых волн сжатия отклонение не превышает 1-2 %, для остальных типов волн – 5 %.

Вторые слагаемые в выражениях (1), (2) и (3) представляют задержку во времени прихода отраженных от сместителя волновых пакетов, вызванную наличием зоны трещиноватости. Поскольку расстояние до нарушения определяется по времени регистрации отраженных волн, используя данную величину, можно оценить соответствующую погрешность:

$$\Delta R = 2l_{\text{r}\ddot{\iota}\delta} \left( \frac{V_{p\text{r}\ddot{\iota}\delta} - \bar{V}_{p\text{a}\ddot{\iota}\ddot{\iota}}}{\bar{V}_{p\text{a}\ddot{\iota}\ddot{\iota}}} \right) = 2l_{\text{r}\ddot{\iota}\delta} \left( \frac{V_{s\text{r}\ddot{\iota}\delta} - \bar{V}_{s\text{a}\ddot{\iota}\ddot{\iota}}}{\bar{V}_{s\text{a}\ddot{\iota}\ddot{\iota}}} \right) = \quad (4)$$

$$= +l_{\text{r}\ddot{\iota}\delta} \left( \frac{V_{p\text{r}\ddot{\iota}\delta} - \bar{V}_{p\text{a}\ddot{\iota}\ddot{\iota}}}{\bar{V}_{p\text{a}\ddot{\iota}\ddot{\iota}}} + \frac{V_{s\text{r}\ddot{\iota}\delta} - \bar{V}_{s\text{a}\ddot{\iota}\ddot{\iota}}}{\bar{V}_{s\text{a}\ddot{\iota}\ddot{\iota}}} \right).$$

На рисунке 1а представлены зависимости амплитуд отраженных волновых пакетов разных типов от степени изменения плотности и скоростных характеристик угля для тектонического нарушения типа сброс для углей марки Ж (ширина зоны трещиноватости составляет 10 м) для основных типов волновых пакетов. Расчеты проводились для значений изменений плотности и скоростных характеристик среды на 5 %, 10 %, 20 % и 30 %. Анализируя графики амплитуд отраженных волн для различных типов волновых пакетов, можно сделать вывод о том, что амплитуды боковых волн всех типов зависят от изменения физико-механических характеристик среды в зоне влияния нарушения типа сброс в меньшей степени, чем у каналových волн, образованных волноводом сложного строения (для моделей, относящихся ко второй группе сейсмогеологических разрезов), и у высокочастотных «хвостовых» частей волн сдвига (для моделей, относящихся к первой группе сейсмогеологических разрезов).



1 – боковая волна сжатия; 2 – обменная боковая волна сдвига; 3 – боковая волна сдвига; 4 – высокочастотная «хвостовая» часть волны сдвига (для моделей, относящихся к первой группе сейсмогеологических разрезов); 5 – каналовая волна, образованная волноводом сложного строения (для пластов, относящихся ко второй группе)

Рисунок 1 – Зависимость амплитуд отраженных волновых пакетов от ширины зоны трещиноватости (а)

и степени изменения плотности и скоростных характеристик угля (б) при ширине зоны, равной 10 м, для тектонического нарушения типа сброс

При этом рассчитанное в рамках используемой модели увеличение амплитуды отраженных боковых волн сжатия в среднем не превышает 10 % на каждые 10 % изменения плотности и скоростных характеристик угля. Для обменной боковой волны сдвига и обычной боковой волны сдвига эта величина также составляет около 10 %. Для каналовой волны, образованной волноводом сложного строения (для моделей, относящихся ко второй группе сейсмогеологических разрезов), и высокочастотной «хвостовой» части волны сдвига (для моделей, относящихся к первой группе сейсмогеологических разрезов), эта величина может превышать 15 %.

Перейдем к рассмотрению влияния ширины зоны трещиноватости на амплитуду отраженного сигнала (рис. 1б). Расчеты проводились для значения изменения плотности и скорости распространения волн сжатия в зоне аномалии на 30 %, степень изменения скорости волн сдвига принималась равной

45 %. Ширина зоны трещиноватости варьировалась в пределах от 10 до 40 м. Как и в предыдущем случае, базовой функцией для аппроксимации была выбрана прямая.

Рассмотрев графики, изображенные на рис. 16, можно сделать вывод, что амплитуды боковых волн всех типов зависят от ширины зоны трещиноватости при зоне нарушения типа сброс слабее, чем каналовые волны, образованные волноводом сложного строения (для моделей, относящихся ко второй группе сейсмогеологических разрезов) и высокочастотные «хвостовые» части волн сдвига (для моделей, относящихся к первой группе сейсмогеологических разрезов).

Рассчитанное падение амплитуды отраженных боковых волн всех типов в среднем не превышает 3-5 % на каждые 10 метров пути по аномалии (размеры аномалии измеряются по пласту). Для каналовой волны, образованной волноводом сложного строения, и высокочастотной «хвостовой» части волны сдвига эта величина может достигать 10-15 % и больше.

На рис. 2 представлены усредненные частотные спектры теоретических сейсмограмм для волн, отраженных от нарушения типа сброс с зоной трещиноватости шириной 10 м, со степенью изменения плотности и скоростных характеристик в угле, равной 10 % (на рис. 2 соответствующий спектр обозначен цифрой 1), а также от нарушения типа сброс с зоной трещиноватости шириной 30 м со степенью изменения плотности и скоростных характеристик в угле, равной 30 % – 2). Кроме того, для сравнения представлен спектр колебаний (3), распространяющихся по направлению к нарушению (для удобства сравнения положения максимумов масштаб амплитуды на рис. 2 изменен в 10 раз). Расчет производился для расстояния 40 м от источника на модели без аномальной зоны (чтобы не возникла погрешность за счет отражения от её границ). Это достаточное расстояние, при котором (по результатам расчетов) успевают сформироваться основные волновые пакеты.

Отражение от нарушения типа сброс с зоной трещиноватости шириной 10 м со степенью изменения плотности и скоростных характеристик в угле, равной 10 %.

Отражение от нарушения типа сброс с зоной трещиноватости шириной 30 м со степенью изменения плотности и скоростных характеристик в угле, равной 30 %.

Спектр исходных колебаний, распространяющихся по направлению к нарушению (для удобства сравнения положения максимумов масштаб амплитуды изменен).

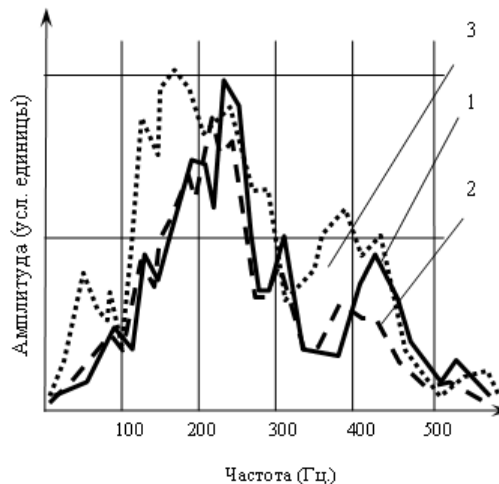


Рисунок 2 – Усредненные частотные спектры теоретических сейсмограмм для модели тектонического нарушения типа сброс

Данные спектры получены на моделях, соответствующих первой группе характерных сейсмогеологических разрезов. Присутствуют два основных максимума, один из которых лежит в низкочастотной области, другой – в области более высоких частот. Это объясняется тем, что, согласно ранее проведенным исследованиям [1, 2], для условий Донбасса характерны волновые пакеты, образованные боковыми продольными (с диапазоном частот от 50 до 200 Гц) и поперечными волнами (от 90 до 250 Гц), а также высокочастотными колебаниями (диапазон частот 150-500 Гц), которые являются структурными составляющими боковых волн сдвига и имеют характеристики, близкие к каналовым волнам. В настоящей работе мы говорим об этом волновом пакете как о высокочастотной составляющей боковой волны сдвига. Боковые волны составляют первый из максимумов, а высокочастотные колебания – второй.

Сравнение частотных спектров показывает, что:

- спектр отраженной части сигнала отличается от спектра падающей волны более значительным вкладом высоких частот;

- аномальная зона в наибольшей степени влияет на частотный спектр отраженной высокочастотной составляющей боковой волны сдвига и в наименьшей степени – на боковые волны.

Действительно, усредненный спектр падающей на нарушение волны имеет локальные максимумы на частотах 60 Гц, 170 Гц и 400 Гц. При наличии тектонического нарушения с незначительной по размерам (ширина по углу составляет 10 м) и по степени изменения характеристик (10 %) зоной трещиноватости образуется отраженная волна значительно меньшей амплитуды (приблизительно 1/10 от амплитуды падающей волны), в которой максимумы спектра располагаются на частотах около 230 Гц (боковые волны) и 430 Гц (высокочастотная составляющая боковой волны сдвига). Интересно, что низкочастотный локальный максимум отсутствует. Если тектоническое нарушение имеет зону трещиноватости шириной 30 м и степенью изменения плотности и скоростных показателей угля 30 %, то

отраженная волна (амплитудой приблизительно 1/11 от амплитуды падающей волны) имеет максимумы спектра на частоте 215 Гц и 390 Гц. Таким образом, наблюдается смещение максимума амплитуды спектра боковых волн на 15 Гц, а максимум амплитуды спектра высокочастотной составляющей боковой волны сдвига – на 40 Гц.

Таким образом, в данной статье изложены результаты анализа влияния параметров тектонических нарушений типа сброс на скоростные,

частотные и амплитудные характеристики информативных волновых пакетов при использовании метода отраженных волн (МОВ). Результаты данной статьи могут быть использованы специалистами в области шахтной и наземной сейсморазведки для разработки систем прогнозных критериев и усовершенствования методик сейсмического прогноза горно-геологических условий залегания угольных пластов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров Н. Я., Яковлев Д. В. Сейсмоакустический метод прогноза горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений. М.: Недра, 1988. 199 с.
2. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. Донецк: Алан, 2002. 312 с.
3. Анциферов А.В., Глухов А.А., Сейсмические волновые поля, регистрируемые на угольных пластах Донбасса при решении задач шахтной сейсморазведки // Сб. науч. тр. Национального горного университета. Днепропетровск: НГУ, 2005. № 23. С. 120-128.
4. Анциферов А.В. Математическое моделирование процесса прохождения сейсмических сигналов через тектонические нарушения угольного пласта // Геотехническая механика / ИГТМ. Днепропетровск, 2001. Вып. 29. С. 90-97.

УДК 622.232.8

**ЖАУТИКОВ Б.А.,  
МЕХТИЕВ А.Д.,  
СУЛТАНБЕКОВ Т.Е.**

### Исследование спектра вибраций механической части горно-добывающих комплексов и экскаваторов

Угольная промышленность является базовой, от ее стабильной работы зависят такие отрасли, как энергетика, металлургия, машиностроение. Поэтому проблемы угольной промышленности в той или иной степени перекладываются на экономику всей страны.

Целью данной работы является исследование спектра вибраций механической части горно-добывающих комплексов и экскаваторов. Для решения данной задачи используются методы вибродиагностики, которые обеспечивают своевременное выявление «слабых мест» механической части машин, задействованных на открытых разработках с установлением фактического технического состояния и необходимости выполнения ремонта.

Анализ всех типов карьерных шагающих и роторных экскаваторов, задействованных в производстве [1], показывает, что средневзвешенный возраст эксплуатации экскаватора составляет более 18 лет, а нормативный срок службы от 15-17 лет. Как следствие – повышенная аварийность, сокращение межремонтных циклов, увеличение затрат на ремонт. Сложные горно-геологические и экологические условия, а также отсутствие достаточного финансирования усугубляют эту проблему. Можно утверждать, что находящиеся в длительной эксплуатации экскаваторы открытых разработок Карагандинской и Павлодарской областей требуют более детального обследования на предмет усталостных разрушений, износа, вибраций. Созрела необходимость в применении методов неразрушающего контроля при проведении ремонтных и наладочных работ с целью повышения их технического уровня, качества и эффективности.

Эффективность эксплуатации горного оборудования предполагает минимизацию затрат на его содержание и ремонт при максимальной производительности и соблюдении безопасных условий труда обслуживающего персонала. Повышаются затраты в 1,5-2 раза на техническое содержание экскаватора из-за увеличения стоимости его ремонта при превышении нормативного срока службы.

Однако, как показывает практика, фактические нагрузки могут значительно отличаться от расчетных или регламентных. Более того, оборудование ремонтируется по регламенту согласно плано-предупредительному ремонту (ППР), что сокращает межремонтный период в среднем на 15-30 %, т.е. снижает надежность. Это обусловлено тем, что в реальных условиях не существует сильной взаимосвязи между сроком эксплуатации и техническим состоянием (ТС) оборудования, если не присутствуют эрозийные формы износа и разрушения, которые напрямую связаны со сроком службы.

На территории Казахстана, так же как и стран СНГ, в настоящее время основным видом технического обслуживания (ТО) машин и механизмов в горной промышленности остается плано-предупредительный ремонт (ППР), а не ремонт по результатам диагностирования и установленному фактическому состоянию механических частей горных машин. Срок эксплуатации экскаватора и его ресурс зависят от времени работы наиболее подверженных износу компонентов, таких, например, как подшипниковые узлы. Процедура, предусмотренная ППР, существенно уменьшает вероятность простоя оборудования и

аварийных ситуаций, но не предохраняет механизм от неожиданных повреждений в межремонтный период, а разборка оборудования при выполнении мероприятий по ППР только может ускорить поломку и износ отдельных узлов. Кроме того, необоснованные разборки оборудования для установления технического состояния вносят новые непредвиденные дефекты: перекосы осей, повышенные или заниженные зазоры, загрязнения и прочие технологические дефекты, сокращающие срок жизни машины, и это требует проведения дополнительных затрат. В связи с этим возникает необходимость перехода на более прогрессивную систему ТО в Республике Казахстан, так называемое обслуживание по фактическому износу (ОФИ). Идея ОФИ состоит в минимизации отказов путем применения методов наблюдения и распознавания технического состояния оборудования методами неразрушающего контроля по совокупности его эксплуатационных характеристик. Повышение уровня безопасности и эффективности эксплуатации горного оборудования является важной научной проблемой, решение которой направлено на повышение надежности при эксплуатации горно-добывающего оборудования, что соответствует приоритетам научно-технического и социально-экономического развития горно-добывающей отрасли Республики Казахстан. Надежность работы горного оборудования на протяжении всего срока эксплуатации диктуется нормативными требованиями безопасности, так как эти элементы должны соответствовать максимально возможному ее уровню [2].

Нами были обследованы экскаваторы карьерных разработок «Богатырь Комир» на предмет наличия износа и вибраций. В результате установлено, что воздействие центробежных сил, или дисбаланса, на опоры в большой степени определяется динамическими свойствами вала и его способностью к изменению формы при вращении. Условные виды дисбаланса валопроводов можно разделить на две категории: механический, или «жесткий» и дисбаланс, связанный с прогибом вала. Механический, или «жесткий», дисбаланс — один из основных источников повышенной вибрации оборудования [3]. Причины его возникновения можно разделить на две группы. Первая из них — это дефекты, связанные с нарушением технологии изготовления, сборки и балансировки ротора после сборки, с заменой или перестановкой деталей в процессе монтажа, характеризующиеся повышенной вибрацией непосредственно по завершении ремонта или монтажа оборудования. Другая группа — дефекты эксплуатации, такие как разрушение и смещение частей валопровода в процессе работы, характеризующиеся внезапными однократными скачкообразными изменениями амплитуды и фазы вибрации, и различные виды износа поверхностей (например, трущихся и рабочих — шеек вала, зубчатых колес), отложения в процессе работы, уменьшение натяга (нарушение посадок) деталей вала, в большинстве случаев характеризующиеся сравнительно медленными (в течение часов, дней,

месяцев и более) изменениями амплитуды и фазы вибрации. Дисбаланс, связанный с прогибом (во многих случаях остаточным) вала, может вызываться дефектами изготовления (остаточные деформации, неоднородность поковки вала, тепловая нестабильность в электрических машинах и др.), дефектами монтажа (в торцевых гаечных соединениях, перекосы в шпоночных соединениях, нарушение натяга дисков и др.) и дефектами эксплуатации (задевания, в результате неравномерного охлаждения или нагрева ротора или нарушения зазоров, нарушений режимов пуска и др.). Статическую неуравновешенность вала может вызывать нарушение соосности или прогиб. Причиной моментной неуравновешенности могут быть перекосы насаживаемых на вал узлов и рабочих облопаченных колес.

Полученные результаты экспериментальных исследований спектра вибраций механической части горно-добывающих комплексов и экскаваторов [3] позволили сделать выводы и представить предельные состояния отдельных элементов (рис. 1). Установлено, что траектория движения вала в подшипнике при неуравновешенности ротора в большинстве случаев имеет форму эллипса, а не круга, что связано с различной жесткостью подшипника в вертикальном и горизонтально-поперечном направлениях. Это типичная траектория движения шейки ротора в подшипнике скольжения при дисбалансе, при этом отношение размахов виброперемещений в вертикальном и горизонтально-поперечном направлениях примерно соответствует отношению жесткостей подшипника в тех же направлениях.

Кривые (формы сигнала) виброперемещения и виброскорости при неуравновешенности ротора и отсутствии других развитых дефектов агрегата во многих случаях периодические или почти периодические, с периодом колебаний, соответствующим частоте вращения вала, и имеют форму, близкую к синусоидальной.

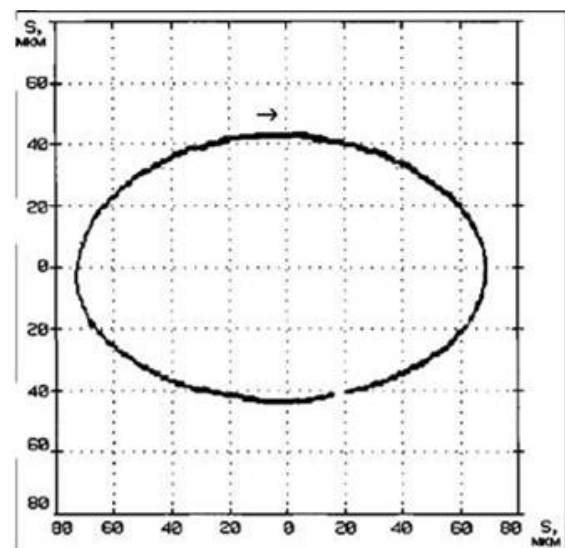
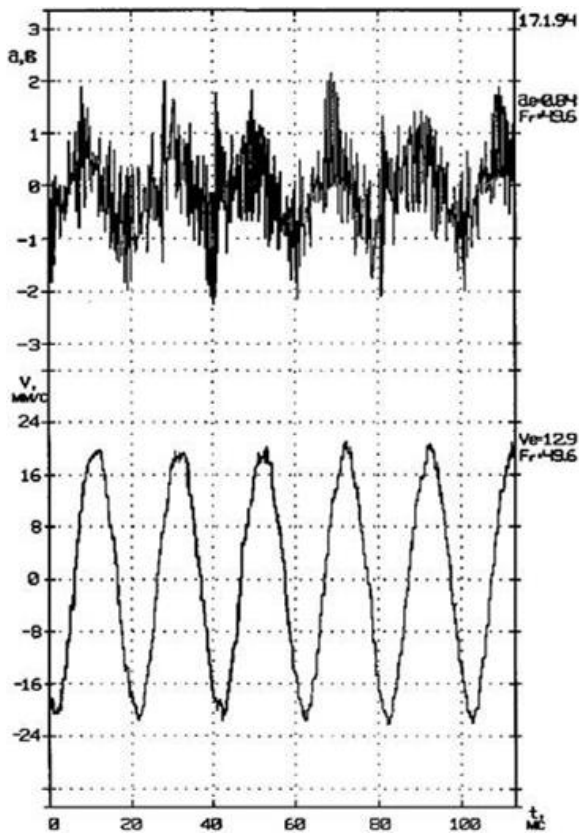


Рисунок 1 – Траектория движения вала в подшипнике при дисбалансе

Амплитуда и фаза вибрации на частоте вращения вала практически стабильны во времени. Кривая (форма сигнала) виброускорения часто имеет более «сложный» («случайный») характер, особенно если вал опирается на подшипники качения. На рисунке 2 приведены формы сигнала виброскорости (нижний график) и виброускорения (верхний график), измеренные с интервалом в несколько секунд в одной и той же точке подшипникового щита вала, имевшего неуравновешенность.

На рисунке 2 вертикальными пунктирными линиями помечен временной интервал, соответствующий одному обороту вала. При этом кривая (форма сигнала) виброускорения имеет «сложную» форму за счет достаточно интенсивной высокочастотной и случайной вибрации (во многих случаях возбуждаемой даже исправными подшипниками качения и другими источниками) и наглядней проявляющейся в сигнале виброускорения, чем виброскорости.



Рисунке 2 – Формы сигнала виброскорости (нижний график) и виброускорения (верхний график)

В амплитудном спектре вибрации составляющая на частоте вращения вала является преобладающей и в большинстве случаев, кроме дисбаланса, значительно (в два и более раз) превышает величину вибрации на ее высших гармониках, а уровень шумовых компонент спектра на 40...50 дБ.

В качестве примера на рисунке 3 приведен спектр виброскорости подшипников вала, имевшего неурав-

новешенность. Стрелками помечены гармоники частоты вращения вала, с индексом  $m$  вибросоставляющей, возбуждаемые подшипником качения, которую не следует принимать как дефект.

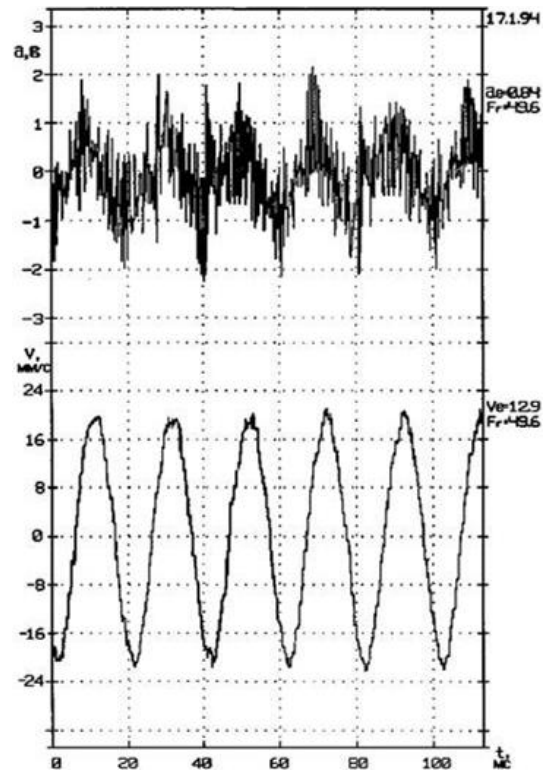


Рисунок 3 – Форма и спектр вибраций подшипников вала редуктора, имеющего неуравновешенность

Необходимо добавить, что виброактивность на высших гармониках частоты вращения вала при дисбалансе во многом определяется нелинейностью, весьма индивидуальной для каждого подшипника, и уменьшается с ростом порядкового номера гармоники.

При механическом дисбалансе параметры вибрации зависят от частоты вращения вала и практически не зависят от режима работы агрегата, внешних условий работы агрегата и температуры. Вибрация может проявляться как в поперечном, так и осевом направлениях, однако в силу ее зависимости от жесткости подшипника, пространственно анизотропной, обычно горизонтально-поперечная вибрация преобладает над вертикальной. При этом чаще наблюдаются более интенсивные колебания опор ротора с дисбалансом, и влияние последнего на колебания опор сопряженных валов агрегата, особенно в случае применения гибких муфт, обычно относительно невелико.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жаутиков Б.А., Мехтиев А.Д., Лихачев В.В., Султанбеков Т.Е. Исследование механических частей горнодобывающего оборудования с вращающимися валами // Тр. VI Междунар. науч.-практ. конф. «Новини за модерна наука – 2010». Т. 21. София: Бял ГРАД ООД, 2010. С. 12-14.
2. Мехтиев А.Д., Лихачев В.В., Булатбаев Ф.Н. Методика повышения надежности работы тормозной балки подъемной машины // Тр. ун-та / Сб. науч. тр. Караганда: КарГТУ, 2008. № 3. С. 72-74.
3. Жаутиков Б.А., Мехтиев А.Д., Султанбеков Т.Е. Обеспечение надежности и прочности механических частей оборудования горного производства в период эксплуатации // Научно-технический журнал «Автоматика и информатика». Караганда: КарГТУ, 2009. № 2. С. 8-9.

УДК 622.271

НИЗАМЕТДИНОВ Ф.К.,  
УРДУБАЕВ Р.А.,  
АНАНИН А.И.,  
ОЖИГИНА С.Б.

## Методика оценки состояния и районирования бортов глубоких карьеров по фактору устойчивости

Оценку состояния устойчивости прибортовых массивов глубоких карьеров и районирование их по фактору устойчивости рассмотрим на примере Соколовского карьера АО «ССГПО». Соколовский карьер находится в стадии доработки: проектная глубина карьера составляет 525 м (отм. дна карьера – -350м), фактическая глубина карьера по состоянию на 01.09.10 г. – 520 м (отм. дна карьера – -345м). Верхние уступы карьера по всему периметру поставлены в конечное положение до отм. - 65 ÷ -140 м.

Для оценки устойчивости бортов карьеров в ДГП «ВНИИцветмет» разработан программный комплекс «БОРТ». Алгоритм программного комплекса «БОРТ» базируется на теории предельного равновесия горных пород [1, 2, 3], согласно которой нарушение устойчивости карьерного откоса происходит в форме обрушения или сползания пород по поверхности скольжения, представляющей собой комбинацию прямолинейных и криволинейных участков.

В соответствии с принятыми положениями для задаваемой точки на борту карьера или уступа строится поверхность скольжения и для неё производится расчёт коэффициента устойчивости  $n$ , который вычисляется как отношение сумм сдвигающих и удерживающих сил, действующих по поверхности скольжения. В задаваемом диапазоне рассматриваемой поверхности откоса строится зависимость  $n=f(B)$  и определяется минимальный коэффициент запаса устойчивости и ширина призмы возможного обрушения.

В программном комплексе «БОРТ» реализован метод прямого перебора всех возможных положений линии скольжения с фиксированным шагом приращения. В качестве основы для разработки программы компьютерного моделирования использована расчетная схема, разработанная в КарГТУ [4] проф. Поповым И.И., проф. Шпаковым П.С., проф. Покладом Г.Г. и др.

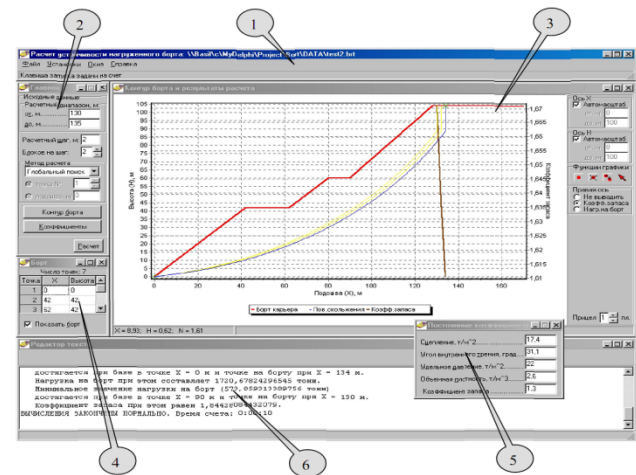
Программный комплекс разработан в среде программирования Delphi и представляет собой многооконное приложение (рисунок 1), предназначенное для использования на персональных компьютерах в среде Windows-95 и выше.

Программный комплекс позволяет оценивать устойчивость борта любой конфигурации и рассчитывать коэффициент запаса устойчивости откоса в любой точке борта при заданном его контуре

и определённых механических характеристиках пород (сцепление, угол внутреннего трения, объёмный вес).

Особенностью программного комплекса «БОРТ» является то, что заложенный в нем алгоритм позволяет решать не только плоскую задачу в пределах одного сечения борта карьера, но и получать объёмное решение при совместном использовании результатов расчета с геоинформационной системой Surpac.

Развитием возможностей программного комплекса «БОРТ» является разработка ряда технологий его совместного использования с геоинформационной системой Surpac как для подготовки качественных исходных данных для расчетов, так и для групповой обработки результатов расчетов по отдельным сечениям. В частности, одна из разработанных технологий позволяет представить серию результатов расчетов по отдельным сечениям в виде карты устойчивости карьера, что позволяет произвести районирование бортов карьера по фактору устойчивости.



1 – окно главного меню программы и строка сообщений и подсказок; 2 – окно ввода основных параметров расчета и управления расчетом (главное окно); 3 – окно графического ввода контура борта и вывода результатов расчета в графическом представлении; 4 – окно представления контура борта в табличном виде (координаты точек перегиба); 5 – окно ввода условно-постоянных коэффициентов; 6 – окно вывода результатов расчета в текстовом виде

Рисунок 1 – Общий вид экрана и основные рабочие окна программного комплекса «БОРТ»



Основными исходными данными для оценки устойчивости бортов карьера с использованием программного комплекса «БОРТ» являются средневзвешенные показатели объёмного веса, сцепления и угла внутреннего трения, входящие в расчётное сечение пород прибортового массива карьера.

Для оценки устойчивости уступов и бортов Соколовского карьера АО «ССГПО» в 2008 году ДГП «ВНИИцветмет» выполнены дополнительные исследования физико-механических свойств скальных горных пород на глубоких горизонтах карьера.

С учетом процентного соотношения основных вмещающих пород в прибортовых массивах Соколовского карьера определены средние расчетные значения физико-механических свойств горных пород для различных областей карьера, которые использовались в качестве исходных данных для оценки состояния устойчивости бортов (таблица 1).

Таблица 1 – Средние значения прочностных характеристик горных пород

Борт карьера	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения	Сцепление в массиве, кг/см <sup>2</sup>
Западный	64,50	6,55	2,870	37,5 <sup>0</sup>	13,110
Восточный	51,45	5,40	2,962	37,4 <sup>0</sup>	10,905
Северный и Южный	57,98	5,98	2,916	37,4 <sup>0</sup>	12,008

При оценке устойчивости прибортовых массивов Соколовского карьера использовался веер сечений, равномерно покрывающий борт карьера и по возможности расположенный перпендикулярно уступам борта (рисунок 2).

Общая характеристика наиболее характерных расчётных сечений борта карьера представлена в таблице 2.

Результаты оценки устойчивости бортов Соколовского карьера приведены в таблице 3.

При экспортировании результатов расчета программного комплекса «БОРТ» по всем расчетным сечениям в геоинформационную систему Surpac получена объединенная модель Соколовского карьера, представленная на рисунке 3.

Полученная цифровая объединенная модель использована при разработке карты устойчивости карьера. Данная карта позволяет оценить снижение устойчивости бортов карьера, выявить наиболее слабые участки, разработать и моделировать мероприятия по повышению их

устойчивости. При этом можно оценить объёмы работ по созданию призмы упора либо по разгрузке бортов путём выколаживания карьерных откосов и т.д.

Анализ результатов оценки состояния устойчивости прибортовых массивов Соколовского карьера (таблица 3) показал, что борта карьера находятся в устойчивом состоянии. Коэффициент запаса по всем рассчитанным сечениям превышает 1: минимальное значение коэффициента запаса устойчивости относится к сечению S11 на южном борту карьера и равно 1,11.

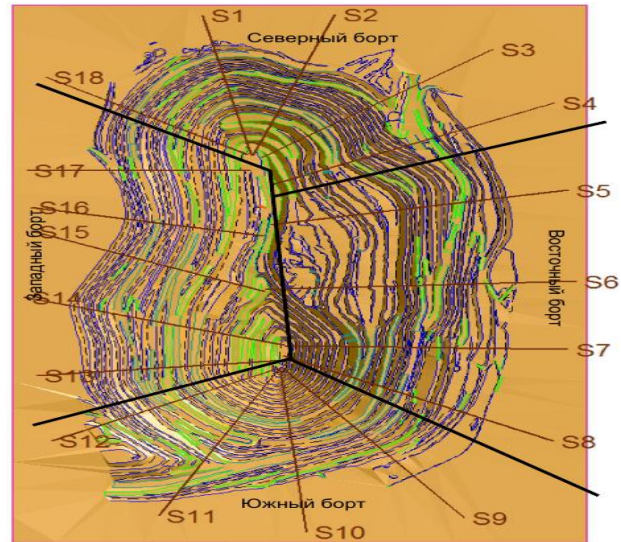


Рисунок 2 – Расчётные сечения борта Соколовского карьера

Таблица 2 – Общая характеристика наиболее характерных расчётных сечений

Расчетное сечение	Борт карьера	Угол наклона борта на различных участках, от гор.м ÷ до гор.м		Угол наклона борта
		угол		
S1	Северный	$\frac{-105 \div -40}{22^0}$	$\frac{-35 \div +40}{30^0}$	23 <sup>0</sup>

**Раздел «Геотехнологии. Безопасность жизнедеятельности»**

S6	Восточный	$\frac{-180 \div -110}{37^0}$	$\frac{-110 \div 0}{16^0}$	20°
S7	Восточный	$\frac{-345 \div -65}{41^0}$	$\frac{-65 \div \text{пов-ть}}{23^0}$	30°
S8	Восточный	$\frac{-345 \div +40}{40^0}$	$\frac{+40 \div \text{пов-ть}}{23^0}$	33°
S9	Южный	$\frac{-340 \div -50}{42^0}$	$\frac{-50 \div \text{пов-ть}}{26^0}$	33°
S9	Южный	$\frac{-340 \div -50}{42^0}$	$\frac{-50 \div \text{пов-ть}}{26^0}$	33°
S10	Южный	$\frac{-345 \div +60}{39^0}$	$\frac{+60 \div \text{пов-ть}}{23^0}$	33°
S11	Южный	$\frac{-320 \div +60}{40^0}$	$\frac{+60 \div \text{пов-ть}}{13^0}$	33°
S12	Южный	$\frac{-340 \div -290}{24^0}$	$\frac{-290 \div +60}{29^0}$	31°
S13	Западный	$\frac{-345 \div +40}{35^0}$	$\frac{+50 \div \text{пов-ть}}{26^0}$	31°
S14	Западный	$\frac{-345 \div +40}{33^0}$	$\frac{+40 \div \text{пов-ть}}{22^0}$	28°
S15	Западный	$\frac{-180 \div 0}{28^0}$	$\frac{0 \div \text{пов-ть}}{27^0}$	26°
S16	Западный	$\frac{-135 \div +10}{30^0}$	$\frac{+10 \div \text{пов-ть}}{30^0}$	27°

Таблица 3 – Результаты оценки устойчивости бортов Соколовского карьера

Расчетное сечение	Борт карьера	Линия сдвижения с минимальным коэффициентом запаса устойчивости		Минимальный коэффициент запаса устойчивости
		от отм. РС*, м	до отм. РС*, м	
S1	Северный	310	370	1,989
S2	Северный	320	470	1,839
S3	Северный	170	638	2,053
S4	Северный	20	290	2,271
S5	Восточный	590	655	1,448
S6	Восточный	590	685	1,459
S7	Восточный	10	330	1,113
S8	Восточный	20	375	1,136
S9	Южный	20	360	1,124
S10	Южный	40	545	1,165
S11	Южный	80	380	1,111
S12	Южный	120	421	1,153
S13	Западный	220	470	1,285
S14	Западный	190	505	1,387
S15	Западный	240	290	1,451
S16	Западный	130	275	1,465
S17	Западный	100	240	1,579
S18	Северный	110	260	1,631

Примечание:\* – отм. РС – отметка расчетного сечения по его подошве от начала сечения

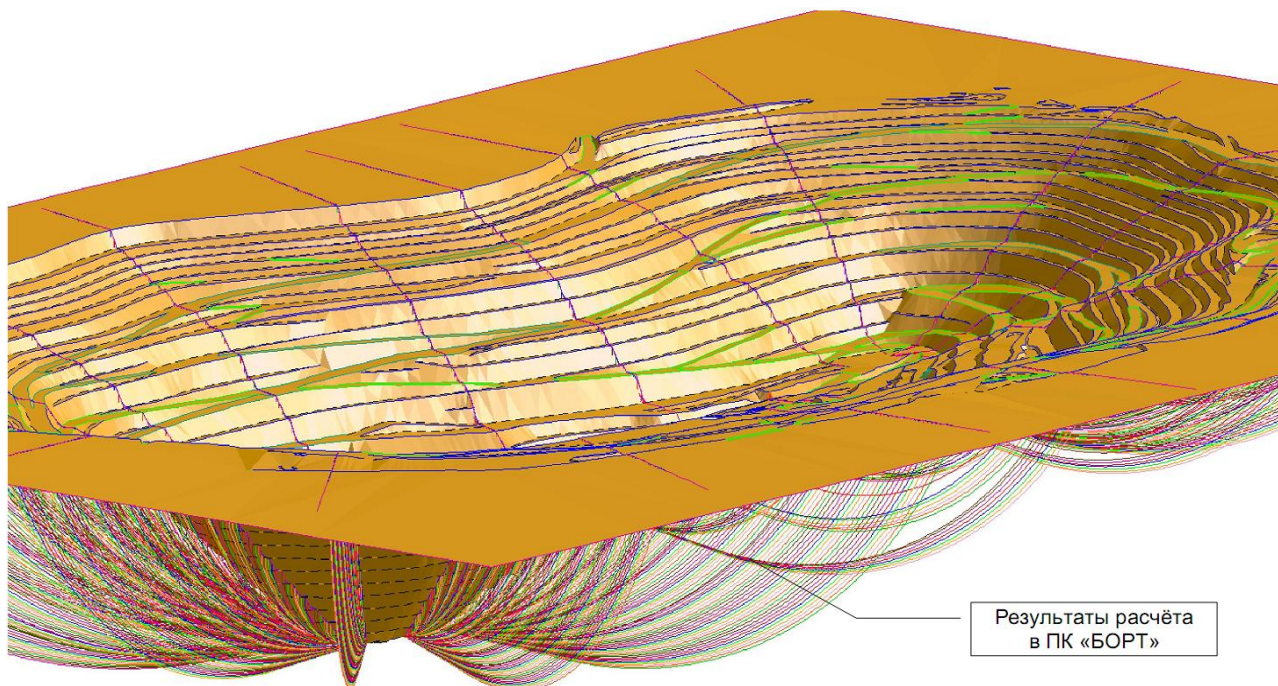


Рисунок 3 – Объединение объемной модели карьера с результатами расчета в программном комплексе «БОРТ»

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965. 378 с.
2. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л.: ВНИМИ, 1972. 165 с.
3. Временные методические указания по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии. М.: МЦМ СССР, 1989. 128 с.
4. Попов И.И., Шпаков П.С., Поклад Г.Г. Устойчивость породных отвалов. Алма-Ата: Наука, 1987. 225 с.

УДК 622.1:622.271

ОЖИГИНА С.Б.

### Методика оценки устойчивости карьерных откосов с учетом погрешности определения прочностных свойств массива

Надежность конечных результатов при решении задач устойчивости карьерных откосов зависит от достоверности исходных данных, используемых в расчетах. Такими исходными данными являются, прежде всего, физико-механические характеристики пород, слагающих прибортовые массивы карьеров, и прочностные характеристики поверхностей ослабления.

Прочностные (механические) свойства горных пород определяются посредством лабораторных испытаний образцов на временное сопротивление одноосному сжатию и растяжению, на предел прочности на срез.

Статистическая обработка результатов лабораторных испытаний горных пород на прочностные свойства производится по ГОСТ 20522 – 96, который не позволяет оценить степень надежности получаемых результатов, так как не учитывает коррелированности прочностных характеристик горных пород ( $k$  и  $tg\rho$ ) [1].

Расчету устойчивости карьерных откосов предшествует обоснование расчетных прочностных характеристик горных пород, слагающих прибортовую массив. Учитывая вероятностный характер информации о свойствах горного массива, предлагается статистико-вероятностная методика обоснования расчетных прочностных характеристик пород.

Прочностные характеристики (угол внутреннего трения  $\rho$  и сцепление  $k$ ) определяются на основании регрессионного анализа данных лабораторных (натурных) испытаний на срез. Данная методика позволяет построить как паспорт прочности  $\tau = f(P)$ , так и доверительные границы для неизвестной истинной зависимости при доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$ .

Ниже приведены результаты обработки данных лабораторных испытаний туфов андезит-базальтовых пород месторождения Нурказган.

В табл. 1 представлены результаты для 16 пар испытаний на срез, в табл. 2 – для 30 пар испытаний.

На рисунке 1 показан график  $\tau = f(P)$  регрессионного анализа для туфов андезит-базальтовых пород при количестве испытаний на срез – 30 пар.

Углы внутреннего трения пород в образце и массиве для одного и того же типа пород отличаются незначительно, поэтому их значения можно принять равными:  $\rho_{обр} \approx \rho_{мас}$ .

Сцепление же пород, полученное по лабораторным испытаниям, может быть в десятки раз больше, чем для той же породы в массиве. Согласно

исследованиям ВНИМИ, эти величины связаны между собой коэффициентом структурного ослабления  $\lambda_0$ , который может быть определен по формуле

$$\lambda_0 = \frac{1}{1 + a \cdot \ln H/l}, \quad (1)$$

где  $a$  – коэффициент, зависящий от прочности породы в монолитном образце и характера трещиноватости;  
 $H/l$  – отношение глубины залегания пород к среднему размеру элементарных блоков.

Таблица 1 – Результаты для 16 пар испытаний на срез

№ испытания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\theta$ , град	25	25	25	35	35	35	35	45	45	45	45
$P$ , МПа	9,21	14,93	11,11	25,18	34,34	31,14	34,65	42,53	29,79	34,50	52,72
$\tau$ , МПа	19,75	32,01	23,83	35,96	49,04	44,47	49,48	42,53	29,79	34,50	52,72
№ испытания	12	13	14	15	16						
$\theta$ , град	45	45	45	35	25						
$P$ , МПа	29,79	35,21	34,02	21,06	8,02						
$\tau$ , МПа	29,79	35,21	34,02	30,56	17,02						

Таблица 2 – Результаты для 30 пар испытаний на срез

№ испытания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\theta$ , град	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	35
$P$ , МПа	5,31	6,83	7,79	8,67	8,71	8,78	9,21	9,95	11,11	14,93	18,53
$\tau$ , МПа	11,39	14,65	16,71	18,59	18,67	18,83	19,75	21,33	23,83	32,01	26,46
№ испытания	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$\theta$ , град	35	35	35	35	35	45	35	35	35	45	35
$P$ , МПа	18,82	20,39	25,18	25,27	26,70	29,79	31,14	32,68	34,34	34,50	34,65
$\tau$ , МПа	26,88	29,12	35,96	36,09	38,14	29,79	44,47	46,66	49,04	34,50	49,48
№ испытания	23	24	25	26	27	28	29	30			
$\theta$ , град	45	45	45	45	45	45	45	45			
$P$ , МПа	42,53	47,42	48,59	49,01	52,15	52,72	54,27	62,72			
$\tau$ , МПа	42,53	47,42	48,59	49,01	52,15	52,72	54,27	62,72			

Для нашего примера  $\lambda_0 = 0,04127$ . Поэтому расчетное сцепление горных пород в массиве по методике ВНИМИ, при использовании коэффициента структурного ослабления, вычисляется по формуле

$$k_M = k_{обр} \cdot \lambda_0. \quad (2)$$

Это равнозначно переносу регрессионной кривой вниз на соответствующую величину. График такой зависимости показан на рис. 2 (для 30 пар значений срезов).

Уравнение предельного равновесия для массива с учетом коэффициента структурного ослабления  $\lambda_0$  примет вид

$$\bar{\tau}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = \bar{P} \cdot tg \rho + k \cdot \lambda_0, \quad (3)$$

а его погрешность определится как

$$\sigma_{\bar{\tau}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}}}^2 = \bar{P}^2 \sigma_{tg \rho}^2 + \lambda_0^2 \sigma_k^2 + 2\bar{P} \cdot r_{k, tg \rho} \cdot \lambda_0, \quad (4)$$

где  $\bar{\tau}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}}$  – среднее удерживающее напряжение, действующее по поверхности скольжения в откосе, приведенном в предельное состояние;  
 $\bar{P}$  – среднее нормальное давление;  
 $k$  и  $tg \rho$  – прочностные характеристики прибортового массива;  
 $\lambda_0$  – коэффициент структурного ослабления;  
 $\sigma_k$  и  $\sigma_{tg \rho}$  – погрешности определения сцепления и угла внутреннего трения;  
 $r_{k, tg \rho}$  – корреляционный момент для значений  $k, tg \rho$ .

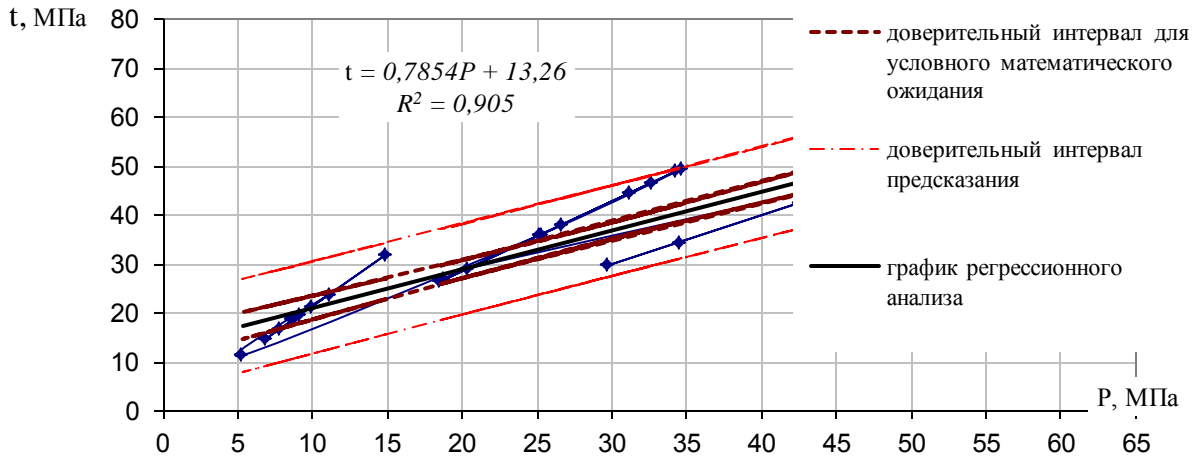


Рисунок 1 – График регрессионного анализа для туфов андезит-базальтовых пород месторождения Нурказган

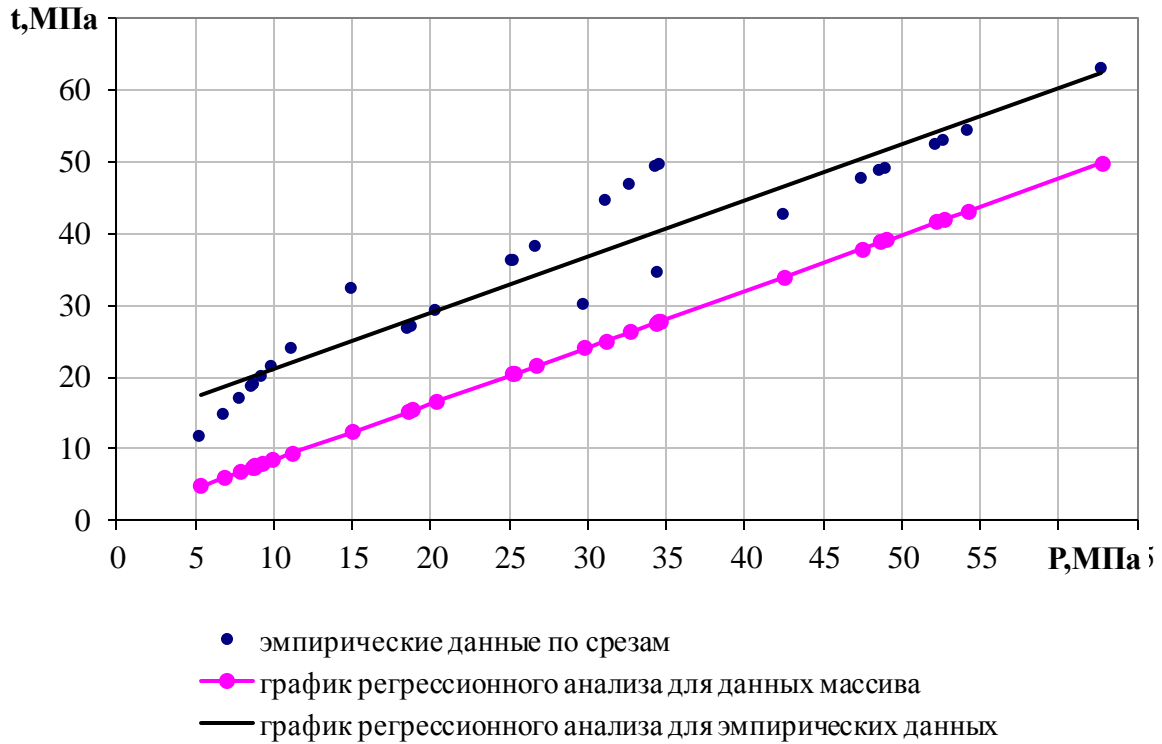


Рисунок 2 – Графики регрессионного анализа для массива и эмпирических данных

Среднее нормальное давление в блоке может быть определено из выражения

$$\bar{\tau}_{\alpha i} = \frac{\sum \tau_{\alpha i}}{N} = \frac{\sum (P_i \cdot \text{tg} \rho + k)}{N} = \bar{P} \cdot \text{tg} \rho + k,$$

откуда  $\bar{P} = \frac{\bar{\tau}_{\alpha i} - k}{\text{tg} \rho}$ .

Для нахождения расчетных прочностных характеристик горных пород, согласно исследованиям ВНИМИ, в найденные их значения в массиве вводится коэффициент запаса  $n_3$ , равный 1,3.

$$k_{\text{дан.}} = \frac{k_i}{n_3}; \quad \rho_{\text{дан.}} = \arctg \left( \frac{\text{tg} \rho_i}{n_3} \right). \quad (5)$$

Для нашего случая эти значения будут равны  $k_{\text{расч.}} = 0,4208 \text{ МПа}$ ,  $\rho_{\text{дан.}} = 31,14^\circ$ ,  $\gamma = 2,74$ .

При нормативных значениях

$$k_i = 0,547 \text{ МПа}, \quad \rho_i = 38,15^\circ, \quad \gamma = 2,74.$$

Значение вводимого в расчеты коэффициента запаса  $n = 1,3$  носит эмпирический характер и не имеет строгого научного обоснования.

Предлагаемая методика, основанная на статистико-вероятностной обработке результатов



исследований прочностных характеристик горных пород, позволяет судить о надежности полученных результатов расчета.

На рисунке 3 приведены совмещенные результаты расчетов по определению параметров прочности при количестве испытаний  $N=16$  и  $N=30$ .

**Анализ показывает, что ширина доверительных интервалов зависит от степени надежности получаемых результатов и, в том числе, от количества испытаний.**

При оценке устойчивости реального борта карьера с применением численно-аналитического способа проф. П.С. Шпакова коэффициент запаса устойчивости определяется по следующему алгоритму [2]:

1) Расчетный откос приводится в предельное состояние методом последовательных приближений путем пропорционального изменения прочностных характеристик до предельных значений, т. е.

$$\frac{tg\rho}{n} \sum p_i \cos \delta_i + \frac{k}{n} \sum l_i = 1, \quad (6)$$

где  $k$  и  $tg\rho$  – прочностные характеристики прибортового массива;  
 $p_i$  – вес  $i$ -го блока, Н;  
 $n$  – коэффициент запаса устойчивости.

Перенос коэффициента  $n$  в формуле (6) в правую часть допустим только при достижении тождества, когда реальный откос с приведенными прочностными характеристиками достигает предельного состояния, так как изменение  $k$  и  $tg\rho$  влечет за собой и изменение

местоположения поверхности скольжения, в связи с чем величины, стоящие под знаками суммирования в формуле (6), изменяются при каждой итерации.

2) Используя уравнение (6), определяем численное значение коэффициента запаса устойчивости как отношение фактических прочностных характеристик к расчетным значениям;

$$n = \frac{tg\rho}{tg\rho_{\text{факт}}} = \frac{k}{k_{\text{факт}}}. \quad (7)$$

Как видно из формулы (7), она принципиально отличается от определения коэффициента запаса как отношения удерживающих сил к сдвигающим силам, действующим в реальном откосе, хотя для приведенной к предельному состоянию схемы такая трактовка остается справедливой. Фактически в формуле (6) числитель представляет собой сумму удерживающих, а знаменатель – сумму сдвигающих сил, действующих по некоторой условной поверхности скольжения. Знаменатель уравнения (6) зависит только от конфигурации и параметров откоса, а числитель является функцией характеристик  $k$  и  $tg\rho$ .

Решим задачу определения погрешности коэффициента запаса устойчивости как функции двух случайных взаимозависимых аргументов  $k$  и  $tg\rho$ , так как их значения определяются опытным путем и содержат в себе погрешности. Уравнение (6) запишем в виде

$$\frac{tg\rho}{n} \sum p_i \cos \delta_i + \frac{k}{n} \sum l_i = \frac{\bar{\tau}_{\text{факт}} \cdot L}{\bar{\tau}_{\text{н\ddot{a}д}} \cdot L} = \frac{\bar{\tau}_{\text{факт}}}{\bar{\tau}_{\text{н\ddot{a}д}}} = 1$$

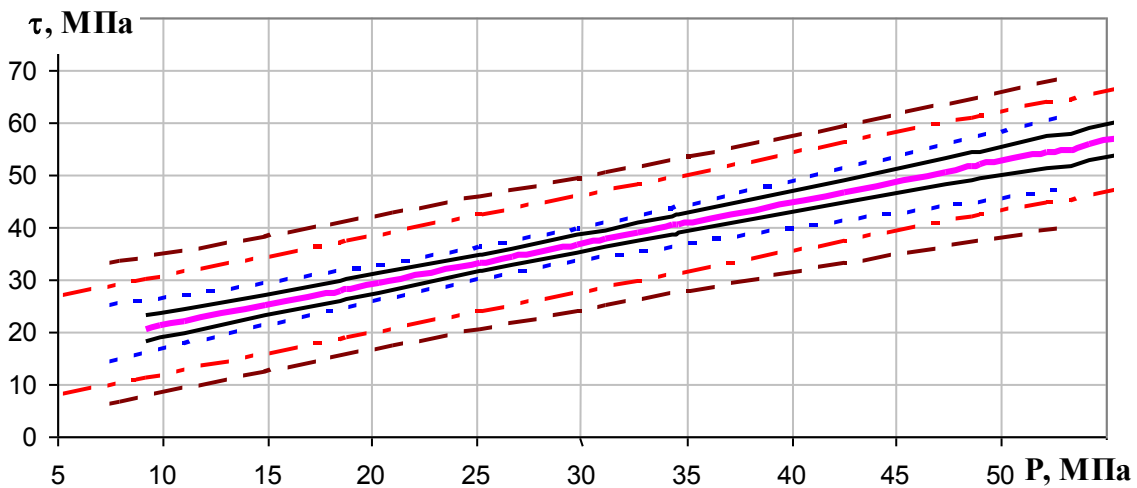


Рисунок 3 – Совмещенные результаты прочностных свойств пород при количестве испытаний  $N=16$  и  $N=30$  или в предельном случае,

$$n = \frac{\bar{\tau}_{\text{факт}}}{\bar{\tau}_{\text{н\ddot{a}д}}} = \frac{\bar{P} \cdot tg\rho + k}{\bar{\tau}_{\text{н\ddot{a}д}}} = 1. \quad (8)$$

Погрешность (дисперсия) коэффициента запаса устойчивости

$$\sigma_n^2 = \left( \frac{1}{\bar{\tau}_{\text{н\ddot{a}д}}} \right)^2 \sigma_{\tau \text{ факт}}^2 = A^2 \sigma_{\tau \text{ факт}}^2, \quad (9)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от геометрии откоса, величина постоянная для конкретного рассматриваемого откоса;  
 $\bar{\tau}_{\text{н\ddot{a}д}}$  – среднее сдвигающее напряжение, действующее по поверхности скольжения в откосе, приведенном в предельное состояние;  
 $\bar{\tau}_{\text{факт}}$  – среднее удерживающее напряжение, действующее по поверхности скольжения в откосе, приведенном в предельное состояние.

Входящая в формулу (9) погрешность  $\sigma_{\bar{r}_{\text{нн}}}^2$  определяется из результатов испытаний прочностных свойств пород по формуле (4). Два других элемента  $A$  или  $\bar{r}_{\text{нн}}$  можно определить из расчета предельной схемы численно-аналитическим способом [3];

3) Зная погрешность  $\sigma_n^2$ , определив коэффициент Стьюдента  $t_{p_0}$  при заданной доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$  и заданном количестве испытаний, определяем доверительные границы, которые с заданной доверительной вероятностью содержат истинный коэффициент запаса устойчивости

$$\tilde{n} - t_{p_0} \sigma_n < n < \tilde{n} + t_{p_0} \sigma_n. \quad (10)$$

Если нижняя граница доверительного интервала окажется меньше единицы, то откос будет находиться в неустойчивом состоянии. Устойчивому состоянию откоса будет соответствовать нижняя граница доверительного интервала, равная единице

$$\tilde{n} - t_{p_0} \sigma_n = 1. \quad (11)$$

Произведем оценку реального борта карьера «Нурказган» при приведенных выше прочностных характеристиках и заданной высоте борта карьера  $H = 600$  м.

Расчет выполнен по усовершенствованной методике проф. П.С. Шпакова. Расчет по этой методике позволяет определить не только численное значение коэффициента запаса устойчивости, но также и вычислить значения, входящие в формулы (4), (9), (10). По приведенному алгоритму составлена программа. Результаты оценки устойчивости борта

карьера «Нурказган» при количестве испытаний горных пород на срез  $N = 16$  и  $N = 30$  приведены в таблице 3.

Расчетные данные для предельного откоса, т.е. значения, соответствующие нижней границе коэффициента запаса устойчивости  $\tilde{n} - t_{p_0} \sigma_n = 1$  при  $p = 0,95$ , сведены в табл. 4.

Учитывая то, что для всех приведенных расчетов нижняя граница коэффициента запаса устойчивости равна единице, т.е.  $n - t_{p_0} \sigma_n = 1$ , то

$$n = 1 + t_{p_0} \sigma_n. \quad (12)$$

Это значит, что величину  $n$ , вычисленную по формуле (12), можно принимать как необходимый коэффициент запаса устойчивости, который в зависимости от принимаемого уровня риска  $r$  компенсирует ошибку исходных данных. Значение  $t_{p_0}$  определяется по количеству испытаний и доверительной вероятности (уровню риска).

На основании проведенных исследований можно заключить: коэффициент запаса устойчивости должен определяться, исходя из надежности определения прочностных свойств массива, учитывающей вероятностный характер закона распределения и коррелируемость этих показателей. Предельное значение коэффициента запаса устойчивости борта карьера должно соответствовать нижней границе доверительного интервала, определенного при заданной вероятности и заданном количестве испытаний прочностных свойств [4].

Таблица 3 – Результаты оценки реального борта карьера «Нурказган»

Предельный угол откоса $\alpha$ , градус	КЗУ ( $\tilde{n}$ ) при норм. значениях прочн. характеристик ( $N = 16$ )	$\tilde{n} - t_{p_0} \sigma_n = 1$ .	Предельный угол откоса $\alpha$ , градус	КЗУ ( $\tilde{n}$ ) при норм. значениях прочн. характеристик ( $N = 30$ )	$\tilde{n} - t_{p_0} \sigma_n = 1$ .	Предельный угол откоса $\alpha$ , градус	По ВНИМИ
43,65	1,3	1,128	43,65	1,3	1,23	43,65	1
48,1	1,176	1	50	1,128	1,055	47	0,927
48,6	1,163	0,989	52	1,081	1,007	53	0,814
49	1,153	0,978	52,3	1,074	1		
50	1,128	0,954	52,5	1,069	0,995		
53	1,058	0,882	53	1,058	0,984		

Таблица 4 – Расчетные данные для предельного откоса

Предельный угол откоса $\alpha$ , градус	КЗУ ( $\tilde{n}$ ) при нормативных значениях прочностных характеристик	$\tilde{n} - t_{p_0} \sigma_n = 1$ .	Методика
43,65	1,3	1	По ВНИМИ
48,1	1,176	1	Предлагаемая при N=16
52,3	1,074	1	Предлагаемая при N=30

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгонос В.Н., Окигина С.Б., Шпакова А.Л. Методика определения расчетных значений прочностных характеристик горных пород с учетом их коррелированности // Мат. Второй Междунар. науч.-практ. конф. «Современное состояние и перспективы развития горно-добывающих отраслей промышленности». Рудный, 2004. С. 42-43.

2. Шпаков П.С., Поклад Г.Г., Омаров С.Т. Основы вероятностного способа решения задач устойчивости откосов уступов и бортов карьеров // Мат. Междунар. симп. Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. Белгород, 1991. Т. 2. С. 148-156.
3. Шпаков П.С. Маркшейдерское обоснование геомеханических моделей и разработка численно-аналитических способов расчёта устойчивости карьерных откосов: Автореф. дис... д-ра техн. наук. М., 1988. 40 с.
4. Ожигина С.Б. Совершенствование способа оценки устойчивости бортов карьеров // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана». Караганда, 2005. С. 97-99.

УДК 622.273

**ТИЛЕУХАН Н.,  
ИСАБЕК Т.К.,  
БЕССОНОВ В.В.,  
СУДАРИКОВ А.Е.,  
НУРМАГАМБЕТОВА А.С.**

## Способы снижения разубоживания руды

Одним из актуальных вопросов при разработке крутопадающих жильных месторождений является разубоживание руды. В работе [1] выделены два вида разубоживания руды:

- 1) разубоживание от засорения руды вмещающей породой;
- 2) разубоживание от потерь руды с повышенным содержанием металла по сравнению со средним по очистному блоку.

При разработке сближенных рудных тел разного качественного содержания возникает еще один вид разубоживания – разубоживание от засорения рудой другого качественного состава или с меньшим содержанием руды.

Причинами первого вида разубоживания могут быть: неточная отбойка руды по контактам залежи; отслаивание пород с кровли и боков; подработка боковых пород при выемке тонких жил для обеспечения очистного пространства.

Разубоживание второго вида вызвано потерями: при доставке, транспортировании и в закладке обогащенной рудной мелочи; при оставлении целиков из сравнительно богатой руды по сравнению с соседними участками.

Какую бы природу не имело разубоживание руды, оно приводит к увеличению затрат на добычу и переработку рудной массы. В связи с этим существует необходимость снижения разубоживания руды. Мероприятия по снижению разубоживания руды должны быть предусмотрены на этапе проектирования: при выборе технологической схемы, способа отбойки руды и установлении продолжительности отработки блока и т.д.

При выборе способа отбойки руды следует учитывать, что применение шпуровой отбойки позволяет произвести наиболее полную выемку руды у контактов залежи и снизить разубоживание вмещающими породами за счет меньшего сейсмического эффекта.

Для снижения разубоживания при отработке сближенных рудных тел различного качественного содержания следует применять селективную выемку. Так, при отработке сближенных марганцевых и железных руд на руднике Ушкатын-3 АО «Жайремский

ГОК» была предложена следующая технологическая схема [2]. Очистной блок имеет следующие параметры: ширина блока – 50 м; высота блока – 48 м; мощность обрабатываемой железомарганцевой руды – 2 м;

мощность железной руды – 4 м;  
угол залегания рудных тел – 85 – 90°.

Отработку блока разделили на две стадии. В первую очередь предусматривается отработка железомарганцевых руд системой с магазинированием руды. Во вторую очередь, после полного выпуска отбитой руды, обрабатываются запасы железных руд, представленных в среднем мощностью 4 м, с отбойкой руды глубокими скважинами. В последнюю очередь производится отработка временных межблоковых целиков, междуэтажных целиков и запасов днища блока, и тем самым производится обрушение налегающих пород.

При I стадии отработки железомарганцевых руд нарезные выработки включают проведение разрезного орта по простиранию рудного тела и блоковых восстающих, из которых через 5 м по вертикали нарезаются короткие сбойки для сообщения с магазинами и проветривания очистных забоев (рисунок 1).

Очистные работы ведут в восходящем порядке потолкоуступным забоем со шпуровой отбойкой и высотой забоя 1,4-1,8 м. Очистная выемка включает в себя обуривание с поверхности магазинированной руды горизонтальных или восходящих шпуров и их взрывание. По мере отбойки производят частичный выпуск руды, оставляя под кровлей свободное пространство высотой около 2,0 м. При необходимости висячий бок обнажения крепится металлопластиковыми штангами. Железомарганцевые рудные тела, расположенные в пределах блока, вовлекаются в отработку одновременно. Перед началом второй стадии отработки производится полный выпуск замагазинированной руды.



Во II стадию предполагается отработка железных руд глубокими скважинами, пробуренными либо с погрузочных заездов (рис. 2), либо с «окон» межблоковых целиков (рис. 3). Отбойку руды можно производить параллельно или веерными скважинами. Для уменьшения времени на выполнение подготовительно-заключительных операций следует использовать веерное расположение скважин.

При выборе порядка отработки железомарганцевых и железных руд следует

учитывать их физико-механические свойства. Менее устойчивые руды целесообразно обрабатывать в первую очередь. Иначе в первой стадии при выпуске руды повышается вероятность перемешивания руд за счет самообрушения менее устойчивых руд.

В III стадию осуществляется погашение временного междуэтажного целика блока путем отбойки глубокими скважинами, пробуренными из буровых

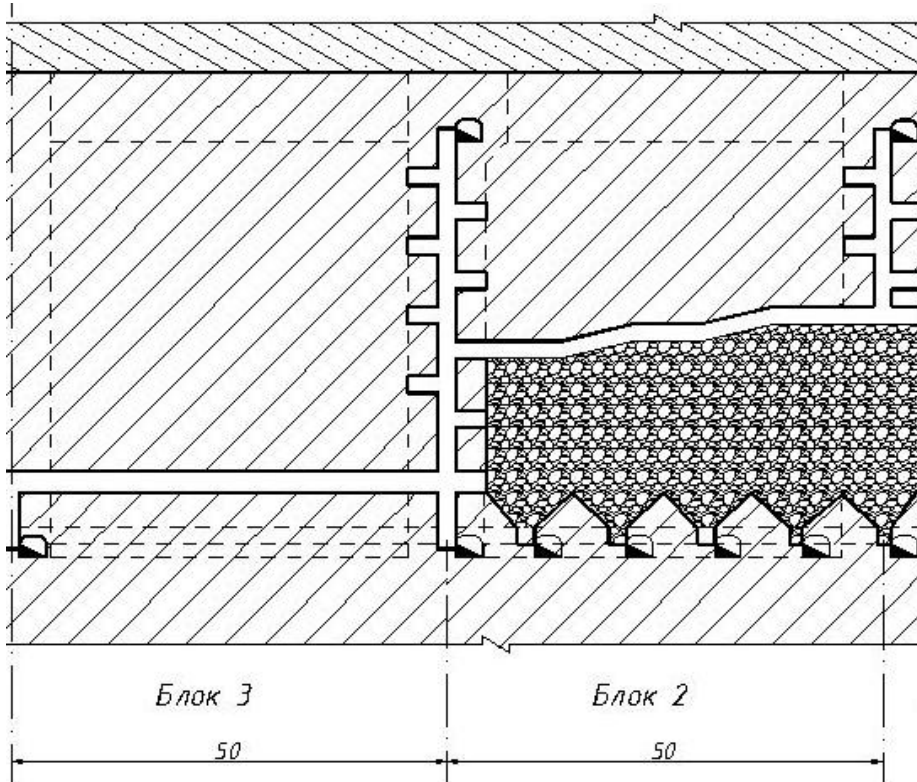
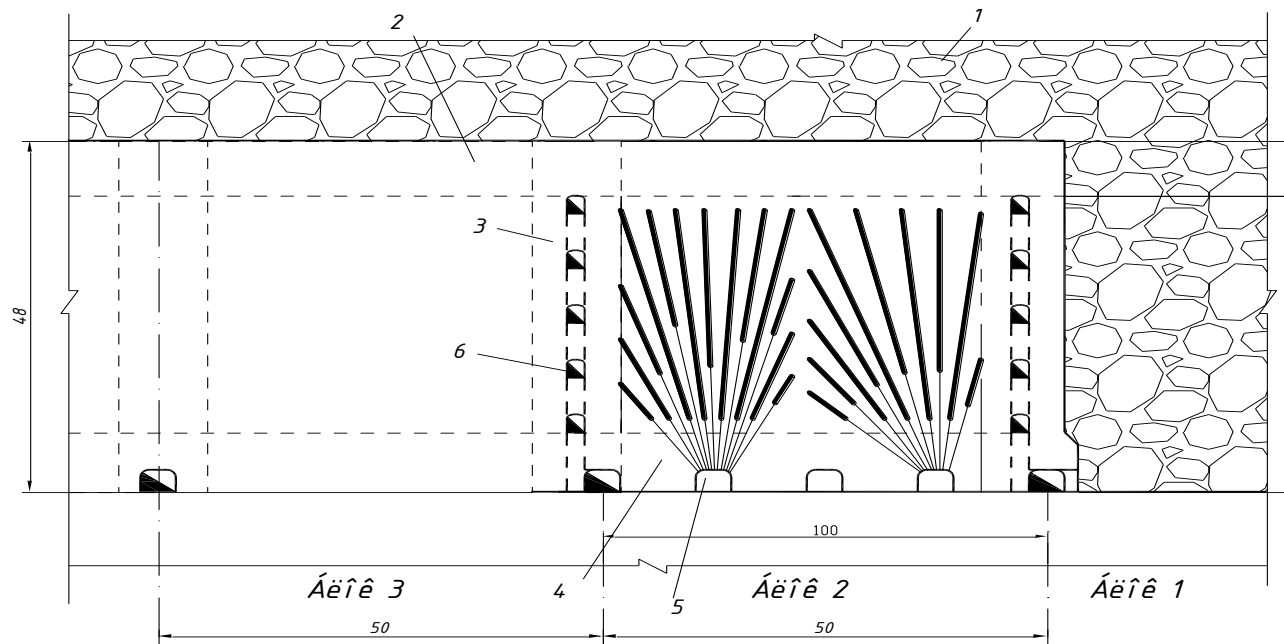


Рисунок 1 – Первая стадия селективной отработки сближенных рудных тел



1 – обрушенные породы; 2 – межэтажный целик; 3 – межблоковый целик; 4 – днище блока; 5 – погрузочный заезд; 6 – окна в межблоковых целиках

Рисунок 2 – Вторая стадия отработки (при бурении скважин с погрузочных заездов)

высечек блоковых восстающих, и тем самым производится обрушение налегающих пород. Запасы межблоковых целиков погашаются одновременной отбойкой всех скважин, пробуриваемых из блоковых восстающих. Запасы надштрековых целиков погрузочных заездов погашаются веерами восходящих скважин, пробуриваемых из погрузочных заездов.

Применение предложенной технологической схемы позволит снизить разубоживание железомарганцевой руды, близко расположенной окисленной железной рудой.

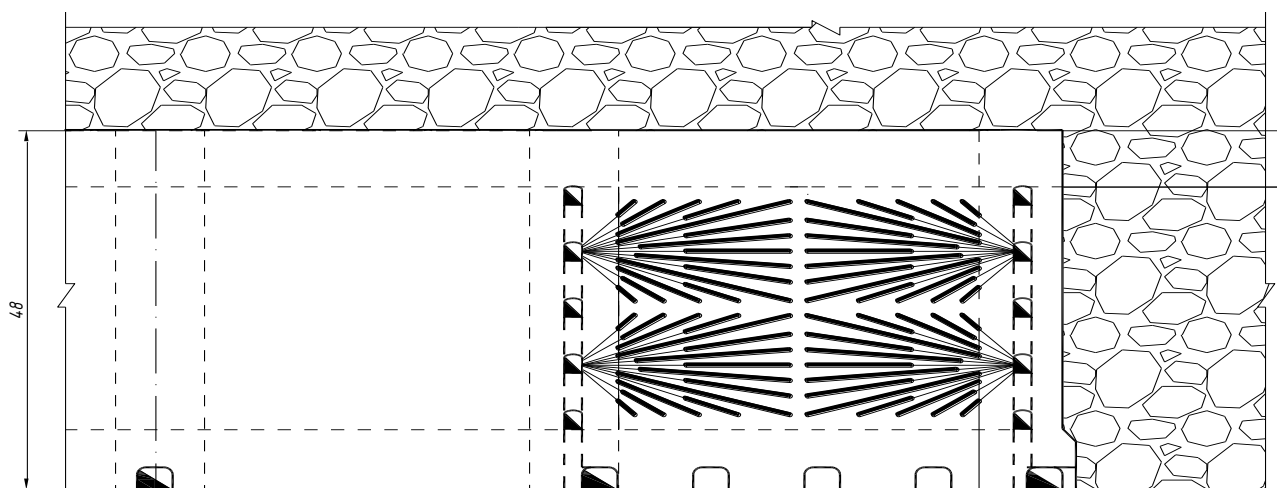


Рисунок 3 – Вторая стадия отработки (при бурении скважин с «окон» межблоковых цефиков)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Именитов В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений: учеб. пособие для вузов. М.: Недра, 1984. 504 с.
2. Тилеухан Н., Бессонов В.В., Судариков А.Е., Бахтыбаев Н.Б., Селективная выемка сближенных рудных тел при разработке крутопадающих жильных месторождений: Науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана» (Сагиновские чтения № 1), 23-24 декабря 2009 г. Ч. 1. Караганда, 2009.

## Раздел 3

### Автоматика. Энергетика. Управление

УДК 656.021

СУЛЕЙМЕНОВА Л.К.,  
ЯВОРСКИЙ В.В.

#### Задачи формирования моделей определения и реализации транспортной потребности населения города

Городской пассажирский транспорт (ГПТ) является сложной системой массового обслуживания, поэтому параметры обслуживания зависят от потока «заявок на обслуживание». С этой точки зрения правильность решения всего комплекса задач транспортного планирования определяется тем, насколько точно определены транспортные потребности. В самом общем виде решение задач транспортного планирования - это определение таких параметров транспортной системы, которые наилучшим образом соответствуют потребностям в передвижениях.

Для решения задач, связанных с планированием инфраструктуры транспорта (определение видов пассажирского транспорта и распределение сфер перевозок по видам транспорта, мощности производственно-технической базы транспорта, достаточной для нормативного уровня обслуживания населения и т.п.), необходимы данные о транспортных потребностях. Данную информацию лучше всего хранить в виде матрицы корреспонденций населения между транспортными районами (ТР) города. Такие матрицы содержат информацию о количестве передвижений за некоторый период времени. Наиболее надежна суточная матрица корреспонденций, в которой представлена суточная интенсивность потоков. Для этой матрицы должно выполняться следующее соотношение – сумма элементов матрицы корреспонденций равна числу

находящегося в городе населения  $NN$ , умноженному на среднесуточную подвижность  $p$ :

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_{ij} = p \cdot NN. \quad (1)$$

Суточная матрица корреспонденций не дает информации о колебаниях пассажиропотоков в течение суток. Для планирования инфраструктуры большое значение имеет наличие информации об интенсивности передвижений в городе в часы пик. Такую информацию может отражать матрица интенсивности корреспонденций за один час, наиболее характерный для рассматриваемого периода.

При текущем планировании транспортной системы необходимо иметь возможность анализировать варианты изменения отдельных маршрутов, определять распределение подвижного состава по маршрутам с учетом колебаний спроса в перевозках во времени. Очевидно, что степень детальности описания транспортных потребностей в задачах данного класса должна быть значительно выше [1]. На данной стадии планирования должна производиться привязка перспективного проекта транспортной системы к конкретным условиям, сложившимся в результате функционирования города.

Основным видом представления данных для решения задач модификации маршрутов ГПТ остается матрица корреспонденций. Однако она в данном случае отражает реальные пассажиропотоки, а детальность деления города на ТР должна быть такой,

чтобы фактически выполнялось соответствие: транспортный район – остановка маршрута.

Определение пассажиропотоков на маршрутах позволяет объективно рассчитать такие важнейшие показатели работы транспорта, как объем перевозок, доход, коэффициент использования вместимости подвижного состава и ряд других. Поэтому пассажиропотоки на маршрутах в крупных городах достаточно регулярно обследуют. Существуют также средства и методы автоматизированного измерения пассажиропотоков.

Матрицы потенциальных передвижений между ТР города получают путем обследования различных структур передвижения населения. Основными при этом принято считать трудовые передвижения. Формирование нетрудовой (культурно-бытовой, рекреационной и т.д.) составляющей матрицы корреспонденций – более сложная задача, чем получение трудовых корреспонденций.

Очевидна взаимосвязь матриц корреспонденций реальных пассажиропотоков на маршрутах с матрицей корреспонденций передвижений между районами города. Можно поставить и обратную задачу определения потенциальной матрицы по данным обследования пассажиропотоков.

Качественно новым этапом решения указанных проблем является создание экспертных систем служб движения городского пассажирского транспорта. Назначением таких систем является обеспечение процессов управления ГПТ действенным инструментарием для исследования уровня транспортного обслуживания. Информационное обеспечение таких систем должно быть ориентировано на систематический сбор информации о состоянии транспортной системы и протекающих в ней процессах. Это может быть реализовано в рамках информационно-вычислительной сети, обеспеченной контроллерами и вычислительной техникой на маршрутах ГПТ, в диспетчерских службах и на транспортных предприятиях.

Анализ функционирования маршрутов должен информационно обеспечиваться данными о паспортах маршрутов, наличии и функционировании транспортных единиц, регулярности движения, взаимосвязанном функционировании маршрутов.

В настоящее время наиболее точным методом измерения пассажиропотоков на маршрутах являются талонные обследования. При таком обследовании пассажиру при входе в транспортную единицу вручают специальный талон, в котором закодированы остановка маршрута и предварительно отмечена остановка посадки. При высадке пассажир сдает талон учетчику, который отмечает остановку высадки. Коды с талонов заносятся в базу данных, после чего производится сортировка и обработка полученной информации. Обработка результатов талонного обследования позволяет получить наиболее детальную информацию о пассажиропотоках на маршрутах в виде матриц корреспонденций  $X^k(t) = \|x_{\zeta\eta}^k(t)\|$ .

Достаточно распространены и другие виды обследований, например, таблично-опросное, табличное и визуальное. При таблично-опросном методе учетчики заполняют специальные таблицы, выясняя у пассажиров при входе в транспортную единицу маршрут следования. При табличном обследовании фиксируются количество входящих и выходящих пассажиров на остановках маршрута, а также текущее время. При визуальном обследовании приближенно фиксируется процент заполнения транспортных единиц на перегонах маршрута, что позволяет рассчитать пассажиропотоки на соответствующих перегонах.

Табличное обследование менее трудоемко по сравнению с талонным, однако оно дает менее детальные данные [1]. Таблично-опросный метод по точности получаемых результатов, а также по трудоемкости обработки соответствует талонному обследованию.

Обработка материалов табличного обследования пассажиропотока предполагает в качестве своей первой задачи определение почасовых интенсивностей посадки и высадки пассажиров для остановок маршрута. На вход данного элемента по каждому рейсу транспортной единицы поступает информация о количестве вошедших и вышедших пассажиров на каждой остановке и данные о времени совершения рейса. Далее рассчитывается загрузка перегонов маршрута. При этом определяются интенсивности пассажиропотока по каждому интервалу времени между парами соседних остановок. Затем рассчитываются сводные характеристики пассажиропотока на маршруте: объем перевозок на маршруте, средняя дальность поездки на маршруте, распределение объемов перевозок в течение суток, коэффициенты неравномерности пассажиропотоков по часам суток и направлениям и т.п.

В случае если имеются данные о вероятностном распределении дальности поездки на маршруте, можно рассчитать вероятности поездки между остановками маршрута  $p_{\zeta\eta}^k$ . Эти данные наряду с информацией об интенсивности входящих  $x_{1\zeta}^k$  и выходящих  $x_{2\zeta}^k$  пассажиров на остановках позволяют рассчитать матрицы корреспонденций:

$$X^k(t) = \|x_{\zeta\eta}^k(t)\|, \quad (2)$$

где  $x_{\zeta\eta}^k(t)$  – количество пассажиров, желающих за определенный период времени  $t$  проехать с остановки  $\zeta$  на остановку  $\eta$   $k$ -го маршрута. Основным источником исходных данных для определения интенсивностей передвижения жителей между транспортными районами города до недавнего времени являлись материалы обследований подвижности населения, расселения трудящихся относительно мест приложения труда, по наличию и использованию культурно-бытовых предприятий и т.д. Такие обследования проводили специализированные организации. Эти организации, как правило, являлись ответственными за

проектирование транспортной инфраструктуры города. В настоящее время большинства таких организаций не существует, нет и средств на проведение подобных обследований.

Тем не менее, значение информации о подвижности населения по мере развития городов постоянно возрастает. Обычно под определением и анализом подвижности населения понимают установление параметров, характеризующих передвижение жителей за выбранный период времени, с детализацией: по целям передвижения, затратам времени, направлениям, социально-возрастному составу и образовательному уровню жителей, районам города. Важнейшими из этих параметров являются величины подвижности населения, коэффициента пользования транспортом, структуры передвижений по циклам, зависимости количества передвижений от затрат времени и т.п.

В различных условиях, главным образом в зависимости от труппы населенности города и объема имеющихся данных, для прогнозирования пассажироперевозок в настоящее время используют три труппы математических моделей: детерминированные, рассматривающие передвижения в виде однозначной функции определяющих факторов (гравитационная, электростатической аналогии и др.); вероятностные, рассматривающие передвижения в виде стохастических (случайных) величин, подчиняющихся статистическим закономерностям (модели множественной корреляции, имитационные и др.), и эвристические, определяющие динамику роста объемов передвижений на основе эвристического прогнозирования (методы динамических рядов, коэффициентов роста). Имеется также ряд комбинированных моделей, характеризующихся признаками детерминированных и эвристических, вероятностных и эвристических и т. д.

В зависимости от методики получения исходных данных и применения выводов модели прогнозирования пассажироперевозок делят на два класса: аналоговые (экстраполяционные) и синтетические (имитационные). Аналоговые модели не вскрывают причинной сущности образования пассажирских связей в городе, но исходят из предположения, что перспективная картина движения в нем будет аналогична существующей, но размеры движения изменятся в соответствии с некоторыми «факторами роста», «коэффициентами роста», величину которых устанавливают экстраполяцией на расчетный период данных натурных обследований. Синтетические методы не требуют анализа существующего состояния пассажироперевозок, их применяют при проектировании транспортных систем новых городов. Особенность этих методов состоит в том, что они моделируют сам процесс формирования пассажирских связей в заданных планировочных и транспортных условиях.

В основе всех современных имитационных (синтетических) моделей прогнозирования пассажироперевозок лежит расчет корреспонденций между отдельными зонами  $i$  и  $j$  города – транспортными районами. В широко применяемой

гравитационной модели количество корреспонденций между зонами  $i$  и  $j$  (из  $i$  в  $j$ )

$$\lambda_{ij} = \frac{k h_i^\alpha h_j^\beta}{R_{ij}^\gamma}, \quad (3)$$

где  $k$  – масштабный коэффициент;

$h_i$  и  $h_j$  – емкости взаимодействующих транспортных районов (их общая населенность или количество населения соответствующих социальных групп – рабочих и служащих, учащихся, несамостоятельного населения);  $R_{ij}$  – «функция сопротивления» транспортной связи районов  $i$  и  $j$  (расстояние, трудность сообщения, стоимость проезда либо комбинация этих показателей). Обычно под функцией сопротивления понимают трудность сообщения между транспортными районами);  $\alpha, \beta, \gamma$  – эмпирические коэффициенты, устанавливаемые на основе натурных транспортных обследований.

В вероятностных моделях корреспонденции между транспортными районами  $i$  и  $j$

$$\lambda_{ij} = h_i h_j P_{ij}, \quad (4)$$

где  $h_i$  и  $h_j$  – емкости взаимодействующих транспортных районов по отправлениям и прибытиям;

$P_{ij}$  – вероятность того, что передвижение закончится в зоне  $j$ , т. е. количественная оценка «притягательности» зоны  $j$  для поездок, зарождающихся в районе  $i$ . Различные вероятностные модели отличаются методикой определения  $P_{ij}$ .

Одним из основных параметров, определяющих объем передвижений расселения между пунктами транспортного тяготения, являются затраты транспортного времени – трудность сообщения. Вместе с тем она может быть определена только при заданной ТС, известной маршрутной системе и различна при использовании разных видов транспорта. В конечном счете транспортная система будет влиять на размещение населения по территории города. Следовательно, вариант размещения населения и транспортной системы, удовлетворяющий тому уровню их динамического равновесия, который будет характерен для рассматриваемого расчетного периода, можно получить только методом последовательных приближений.

Таким образом, принципиальная ограниченность современных математических моделей прогнозирования пассажироперевозок состоит в том, что ни одна из них не обеспечивает однозначного выбора оптимальной транспортной системы и все они потенциально опираются на существующие виды транспорта. В настоящее время ведутся непрерывные поиски в этом направлении, разрабатываются новые варианты вероятностных и динамических моделей, накапливается статистический материал о причинно-следственных связях пассажироперевозок с определяющими их факторами.

Для хранения данных о транспортной потребности предлагается использовать матрицы корреспонденций

населения между транспортными районами города. Очевидна взаимосвязь матриц корреспонденций реальных пассажиропотоков на маршрутах с матрицей корреспонденций передвижений между районами города. Для проведения обследования пассажиропотоков рекомендуется использовать талонный метод как один из наиболее точных.

Применение современных информационных технологий обработки данных для формирования матрицы корреспонденций и обработки результатов обследования позволит оперативно и точно определять транспортные потребности населения и прогнозировать развитие транспортной системы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яворский В.В., Сулейменова Л.К. Методика получения данных о транспортной потребности населения города // Вопросы планировки и застройки городов. Пенза, 1989. С. 10-12.

УДК 621.3:004  
ЛИСИЦЫН Д.В.

### Компьютерное моделирование многодвигательного электропривода механизма поворота одноковшовых экскаваторов с уточненной механической частью

Производительность одноковшового экскаватора в значительной степени определяется временем поворотных движений, которое составляет до 75% времени цикла [1]. Механизм поворота вместе с поворотной платформой и рабочим оборудованием обладают большим моментом инерции, и в течение основного времени поворотных движений имеет место переходный процесс. Время цикла экскавации может быть уменьшено за счет сокращения длительности переходных процессов.

В начале разгона и торможения поворотной платформы в редукторе механизма поворота возникают ударные динамические нагрузки вследствие наличия зазоров в кинематических парах редуктора. При выборе люфтов возникают ударные броски упругого момента, многократно превышающие статические значения. Все это приводит к тому, что на механическую часть приходится до 65% отказов от их общего количества [1]. Повышение производительности и увеличение эксплуатационной надежности является актуальной научно-технической задачей. Для улучшения режимов работ многодвигательного механизма поворота изначально необходимо провести детальные исследования электромеханических процессов в механизме поворота, выявить главные причины, ведущие к преждевременному износу оборудования, и определить основные направления по модернизации электропривода.

Типовая кинематическая схема двухдвигательного электропривода механизма поворота представлена на рисунке 1.

Движение от электродвигателей 1 через редукторы 2, установленные на платформе, передается на поворотный вал 3 с ведущими шестернями, обегаящими вокруг неподвижного венца 4, закрепленного на ходовой раме. Стопорный тормоз 5 располагается на верхнем конце вала двигателя.

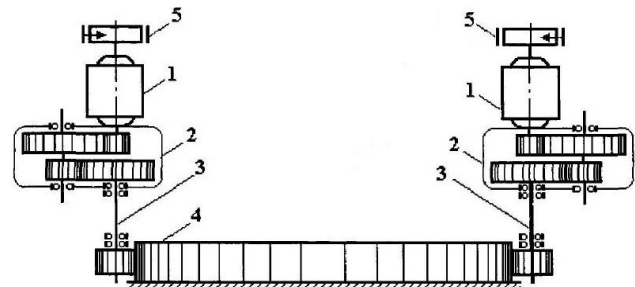


Рисунок 1 – Кинематическая схема механизма поворота экскаватора

В соответствии с представленной кинематической схемой электромеханическую систему механизма поворота экскаватора следует рассматривать как трехмассовую систему с переменной третьей массой [2].

На рисунке 2 приведена структурная схема уточненной математической модели механической части механизма поворота экскаватора.

На схеме приняты следующие обозначения:  $M_{\partial 1}$ ,  $M_{\partial 2}$ ,  $M_{пл}$  – электромагнитные моменты соответствующих двигателей и момент, приложенный к поворотной платформе;  $M_{св\Sigma}$  – момент сопротивления движению поворотной платформы;  $M_{13}$ ,  $M_{23}$  – упругие моменты с учетом внутреннего вязкого трения;  $J_1$ ,  $J_2$  – моменты инерции массивных элементов первого и второго электроприводов механизма;  $J_{пл}$ ,  $J_{(к+с)}$  – приведенные моменты инерции поворотной платформы с установленным на ней оборудованием и ковша с породой;  $C_{13}$ ,  $C_{23}$  – эквивалентные коэффициенты жесткости упругих элементов;  $b_{13}$ ,  $b_{23}$  – эквивалентные коэффициенты вязкого трения упругих звеньев;  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$  – скорости вращения двигателей и частота вращения поворотной платформы;  $HЭ1$ ,  $HЭ2$  – нелинейный элемент, моделирующий эквивалентный зазор в зубчатых передачах;  $\varphi_1'$ ,  $\varphi_2'$  – угол поворота вала соответствующего двигателя;  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  – приведенный угол поворота тихоходного вала редуктора;  $\Delta\varphi_3$  – приведенный зазор в редукторе.

Считается, что при наличии зазоров в кинематической схеме движение третьей массы может

начаться лишь только тогда, когда выбрана половина зазора  $\Delta\varphi_3/2$  в одну или другую сторону [3].

Система уравнений, описывающих трехмассовую механическую часть механизма поворота экскаватора, имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} J_1(d\omega_1/dt) &= \dot{I}_{a1} - \dot{I}_{13}; \\ J_2(d\omega_2/dt) &= \dot{I}_{a2} - \dot{I}_{23}; \\ J_3(d\omega_3/dt) &= \dot{I}_{13} + \dot{I}_{23} + \dot{I}_{\text{нвз}}; \\ \dot{I}_{13} &= \tilde{N}_{13} \int (\omega_1 - \omega_3) dt + b_{13}(\omega_1 - \omega_3) \text{ и } \delta \text{ } \dot{\delta} \text{ } |\varphi'_1 - \varphi_3| \geq \Delta\varphi_3/2; \\ \dot{I}_{13} &= 0 \text{ и } \delta \text{ } \dot{\delta} \text{ } |\varphi'_1 - \varphi_3| \geq \Delta\varphi_3/2; \\ \dot{I}_{23} &= \tilde{N}_{23} \int (\omega_1 - \omega_3) dt + b_{23}(\omega_2 - \omega_3) \text{ и } \delta \text{ } \dot{\delta} \text{ } |\varphi'_2 - \varphi_3| \geq \Delta\varphi_3/2; \\ \dot{I}_{23} &= 0 \text{ и } \delta \text{ } \dot{\delta} \text{ } |\varphi'_2 - \varphi_3| \geq \Delta\varphi_3/2. \end{aligned} \right\} (1)$$

Математическое описание генератора постоянного тока выполнено, исходя из предположения, что угловая скорость вращения генератора  $\omega_2$  во всех режимах остается постоянной, насыщение стали генератора отсутствует, а магнитный поток генератора  $\Phi_2$  зависит от тока возбуждения генератора  $I_{e2}$  линейно. С учетом этих допущений генератор может быть описан следующим уравнением:

$$\dot{O}_{a2} \frac{dE_a}{dt} + E_a = \hat{E}_a \cdot U_a, \quad (2)$$

где  $E_a$  – ЭДС генератора;  
 $T_{a2}$  – постоянная времени цепи возбуждения генератора;

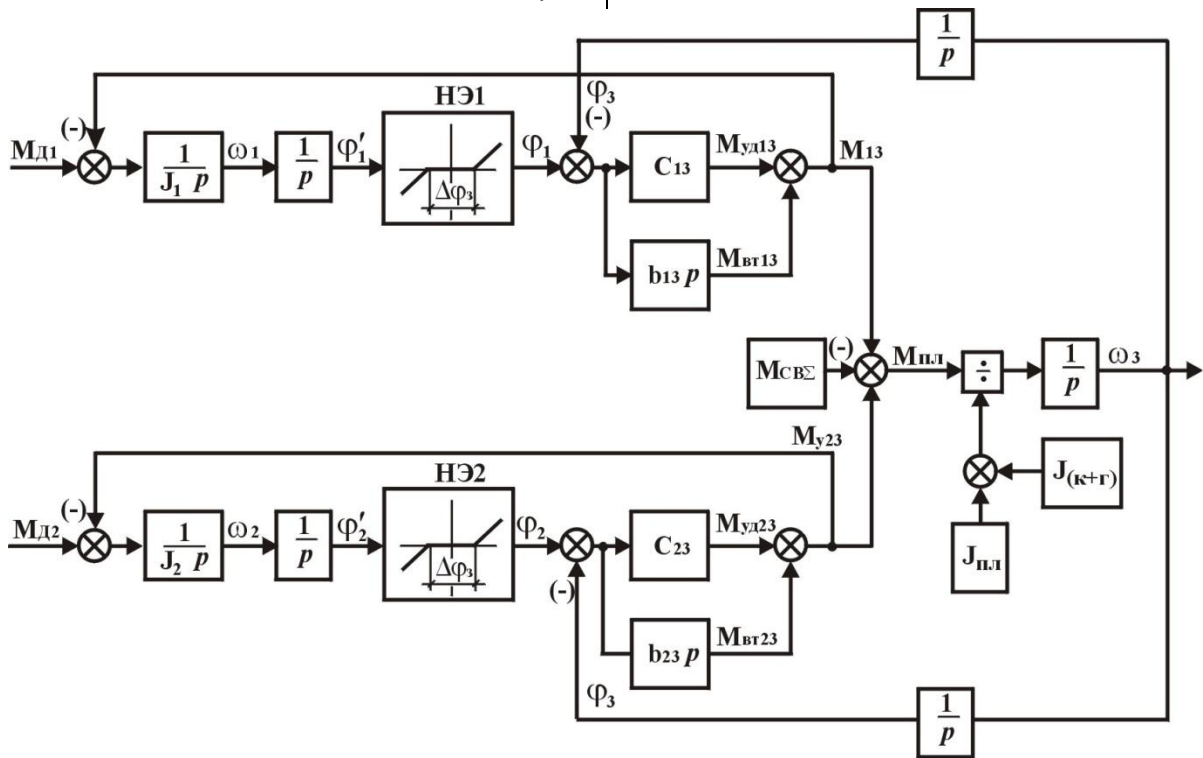


Рисунок 2 – Структурная схема математической модели механической части

$L_{e2}$  – индуктивность цепи возбуждения генератора;  
 $R_{e2}$  – активное сопротивление цепи возбуждения генератора;  
 $K_e$  – коэффициент передачи генератора;  
 $U_e$  – выходное напряжение возбудителя генератора.

Математическое описание двигателей постоянного тока выполнено, исходя из предположений, что параметры якорных цепей двигателей во всех режимах остаются неизменными, а насыщение стали двигателей отсутствует.

С учетом этих допущений электромагнитные процессы в якорной цепи описываются следующими уравнениями:

$$\dot{O}_y \frac{dI_y}{dt} + I_y = \frac{(E_a - E_d)}{R_y}, \quad (3)$$

$$\dot{I}_a = (\tilde{N}_i \hat{O}_a) I_y, \quad (4)$$

где  $I_y$  – ток якорной цепи системы Г-Д;  
 $T_y$  – постоянная времени якорной цепи;

$R_y$  – активное сопротивление якорной цепи;  
 $E_d$  – ЭДС двигателя;  
 $M_d$  – электромагнитный момент двигателя;  
 $C_m$  – машинная постоянная двигателя.

Математическое описание возбудителей генератора и двигателей постоянного тока выполнено, исходя из предположений, что присутствующее в схемах возбудителей запаздывание мало, потому они могут быть описаны не звеном с запаздыванием вида  $W = e^{-Tp}$ , а аperiодическим звеном первого порядка с эквивалентной постоянной времени  $T_{э6}$ .

С учетом этих допущений электромагнитные процессы в возбудителях генераторов и двигателей механизма могут быть описаны уравнением:

$$\dot{O}_{y1} \frac{dU_a}{dt} + U_a = \hat{E}_a \cdot U_{\delta}, \quad (5)$$

где  $K_e$  – коэффициент передачи возбудителя;  
 $U_y$  – напряжение управления.



Структурная схема силовой части электропривода механизма поворота с учетом сделанных допущений и приведенного математического описания представлена на рисунке 3.

При моделировании в качестве возбудителя генератора была принята система с магнитным усилителем, как наиболее распространенная, с системой регулирования, содержащей жесткую обратную связь по напряжению генератора и жесткую обратную связь по току якорной цепи с отсечкой. Структурная схема регулятора приведена на рисунке 4.

По структурным схемам в среде пакета прикладных программ Matlab приложение Simulink разработана имитационная модель двухдвигательного электропривода механизма поворота экскаватора. Приложение Simulink позволяет быстро проектировать, моделировать и тестировать системы электропривода,

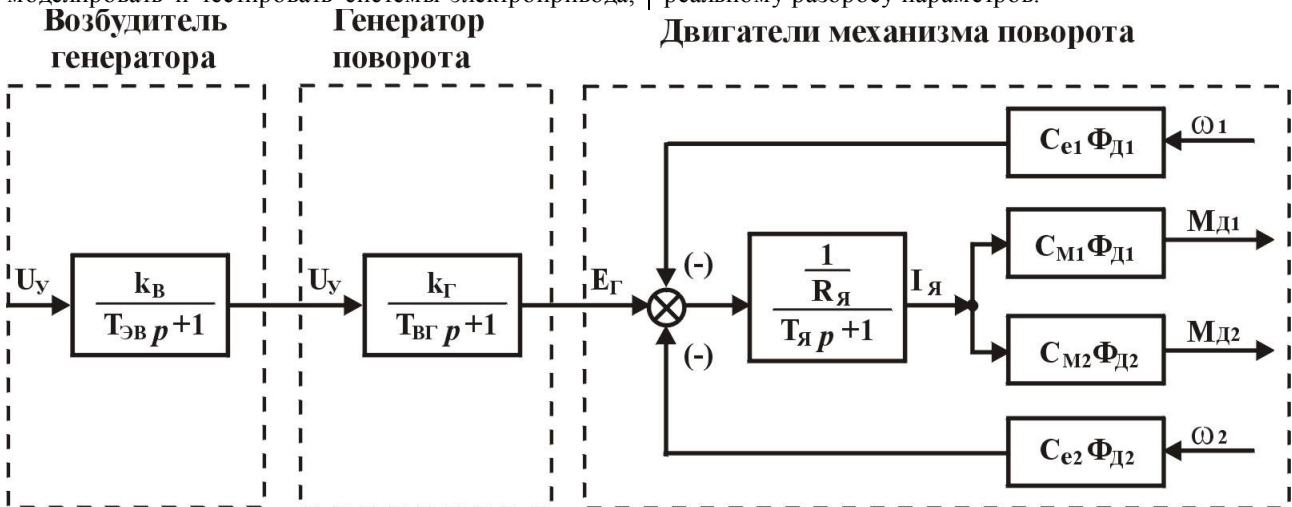


Рисунок 3 – Структурная схема силовой части электропривода

Серия проведенных экспериментов показала, что наличие кинематических зазоров в редукторе механизма поворота является основной причиной возникновения высоких динамических нагрузок в механической части привода. В период выбора зазоров двигатели не связаны с механизмом, и так как их момент инерции значительно меньше, чем суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции поворотной платформы, возникают большие ускорения. Процесс выбора зазоров оканчивается динамическим ударом, действующим в течение чрезвычайно малого промежутка времени. После замыкания зазора кинематическая энергия маховых масс редуктора переходит в потенциальную энергию упругих звеньев, вызывая в них динамические деформации, в несколько раз превышающие деформации, которые имели бы место при статическом действии момента двигателя.

На рисунке 5 представлены результаты имитационного эксперимента при попытке полностью идентичными двигателями. Здесь рассмотрен процесс разгона, равномерного движения и остановки поворотной платформы. Переходной процесс упругого момента  $M_{13}$  в этом случае носит аperiодический быстро затухающий характер. При

используя интерактивно-визуальное моделирование [4].

Числовые параметры математических моделей электропривода поворота были выбраны применительно к экскаватору ЭКГ-10, исходя из технического описания [5].

При моделировании учитывалось и то обстоятельство, что при одинаковых номинальных данных двигателей в многодвигательном электроприводе их механические характеристики могут отличаться вследствие различия магнитных потоков [6].

В связи с этим, исследования производились на имитационной модели электропривода, содержащего абсолютно идентичные электродвигатели, и на модели с разницей основных магнитных потоков электродвигателей в пределах 10%, что соответствует реальному разбросу параметров.

Двигатели механизма поворота

пусках в момент замыкания зазора амплитуда упругого момента достигает почти трехкратного значения от номинального момента.

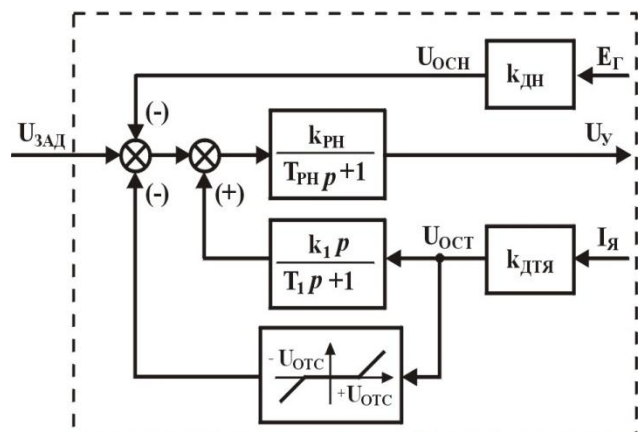


Рисунок 4 – Структурная схема регулятора экскаваторного электропривода

На рисунке 6 представлены результаты имитационных экспериментов при разбросе величин основных магнитных потоков двигателей в 10 %.

Разница в магнитных потоках вызывает различие в механических характеристиках, что в свою очередь

приводит к дополнительному возникновению разности скоростей  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  в переходных процессах. Это и является основной причиной периодического замыкания и размыкания зазоров.

Кроме перегрузок, имеющих место при первоначальном замыкании зазора, в установившихся режимах наблюдаются слабозатухающие колебания упругого момента с частотой 4-5 Гц (рисунок 6 а). Между упругими моментами существует фазовый сдвиг, а разность амплитуд составляет почти 100% от номинального значения момента (рисунок 6 б).

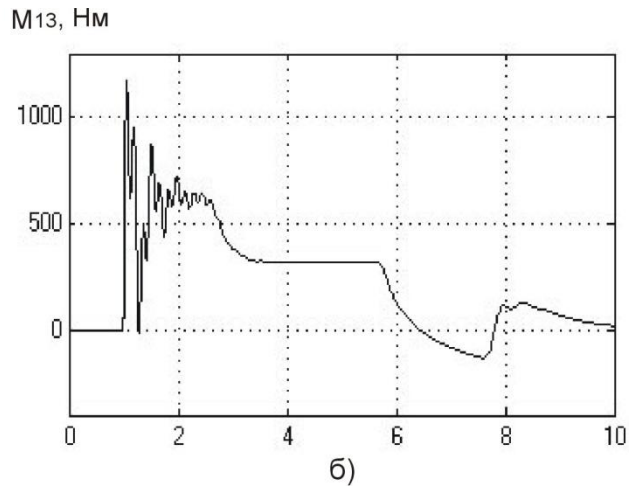
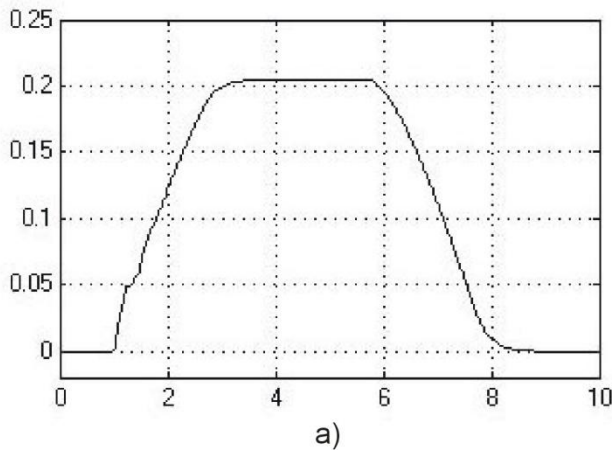
Наличие периодических колебаний упругого момента существенно снижает усталостную долговечность редукторов механизма поворота, вызывая тем самым преждевременный выход из строя редукторов. Именно этим фактором можно объяснить частые отказы, возникающие в редукторах механизма поворота одноковшовых экскаваторов.

Для устранения разброса параметров электродвигателей технологическими методами при изготовлении и ремонте необходимо внедрение новых  $W_{пл}, \text{ рад/с}$

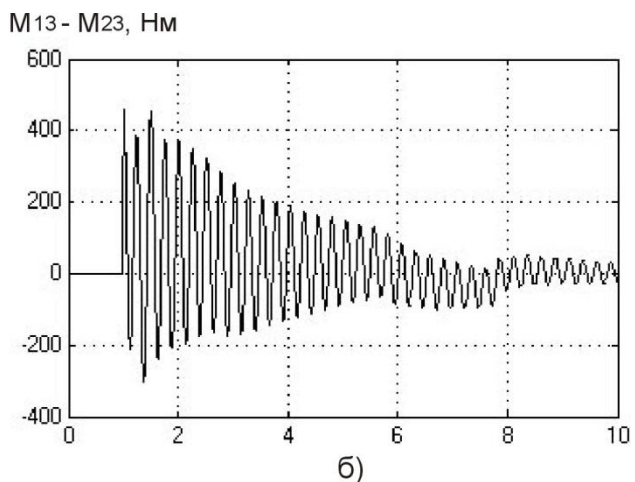
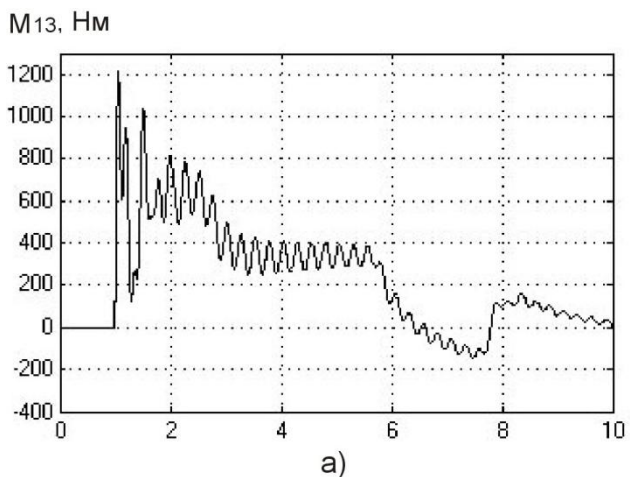
технологий, применение материалов и комплектующих с идентичными магнитными характеристиками и создание специализированных средств контроля, что требует значительных материальных затрат.

Поэтому для улучшения работы многодвигательного электропривода одноковшовых экскаваторов целесообразно усовершенствовать систему управления, а именно, разделить цепи возбуждения электродвигателей и запитывать их от отдельных управляемых преобразователей. Систему управления при этом необходимо дополнить подсистемой выравнивания магнитных потоков, воздействующую на цепи возбуждения электродвигателей.

Разработанная имитационная модель может быть полезна при разработке и синтезе усовершенствованной системы управления многодвигательными экскаваторными электроприводами.



а – угловая скорость платформы, б – упругий момент  $M_{13}$   
Рисунок 5 – Эксперименты с идентичными параметрами двигателей



а – упругий момент  $M_{13}$ , б – разность упругих моментов  $M_{13}$  и  $M_{23}$   
Рисунок 6 – Эксперименты с неидентичными параметрами двигателей

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ключев В.И., Миронов Л.М., Резников А.М., Фомин А. Разработки и исследования экскаваторных электроприводов // Электротехника. 2000. №2. С. 20-25.
2. Носырев М.Б., Карякин А.Л. Расчет и моделирование САУ главных электроприводов одноковшовых экскаваторов: Учеб. пособие. Свердловск: Изд-во СГИ им. В.В.Вахрушева, 1987. 88 с.
3. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербург. отд-ние, 1992. 288 с.
4. Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений/ Под общ. ред. В.Г.Потемкина. М.: Диалог МИФИ, 2003.496 с.
5. Устройство комплектное низковольтное управления электроприводами с тиристорным возбуждением для карьерного экскаватора ЭКГ-10: Инструкция по наладке и эксплуатации главных электроприводов экскаватора ЭКГ-10. М., 1989. 258с.
6. Брейдо И.В., Лисицын Д.В. Имитационное моделирование многодвигательного электропривода подъема экскаватора ЭКГ-8 // Труды университета. Вып. 3; Карагандинский государственный технический университет. Караганда, 1998. С. 302-304.

УДК 622.232.72.001.24-52

ПАРШИНА Г.И.

### Алгоритмы и принципы построения автоматизированной системы поддержки работоспособности электротехнических комплексов очистных участков угольных шахт

Опыт создания автоматизированных систем показывает, что эффективное управление энергетическим хозяйством обеспечивается с помощью внедрения в производство систем автоматизированного диспетчерского управления (АСДУ). При существующих условиях построения структуры шахты наиболее рациональной является двухступенчатая АСДУ. В этом случае отдельные энергетические системы предприятия имеют самостоятельные пункты управления, ведающие работой сооружений и сетей только данной энергетической системы, а центральный диспетчерский пункт (ЦДП) отдела главного энергетика (ОГЭ), осуществляет руководство энергетическим хозяйством предприятия в целом, координирует работу отдельных диспетчерских служб и связывается с внешними производителями и потребителями энергии.

Программные комплексы, автоматизирующие работы, проводимые в отделах главного энергетика шахты, выполняют функции, связанные с решением следующих основных задач [1-5]:

- оперативно-техническое управление службами и системами, подчиненными главному энергетик (С и СГЭ);
- организационно-экономическое управление С и СГЭ;
- ремонтно-технологическое управление системами, подчиненными ГЭ.

В состав программного обеспечения ОГЭ входит автоматизированная система расчета электроснабжения (АС РЭС) добычных участков

шахты, которая может функционировать и как самостоятельная автономная система. Задачи, решаемые АС РЭС, следующие:

- хранение и обработка данных для расчета схем электроснабжения в соответствии с требованиями ПБ;
- хранение и обработка данных для формирования структуры схем электроснабжения технологических объектов, корректировки изменений в схемах с последующим их расчетом и документированием;
- хранение и вызов справочной информации об аппаратах, о кабельных изделиях, устройствах защиты и управления, имеющихся на складах шахты;
- хранение и выдача по требованию регламентированной ПБ справочной информации, определяющей допустимую структуру и технические характеристики схем электроснабжения;
- хранение в памяти ЭВМ расчетов и графических изображений схем электроснабжения шахты;
- хранение и обработка данных для формирования твердых копий схем электроснабжения.

Расчет имеет линейную структуру, с возможностью возврата в любую точку. На рисунке 1 приведен общий алгоритм расчета электроснабжения добычного участка угольной шахты, без детализации по отдельным процедурам расчета. Алгоритм соответствует ГОСТ 15150 и позволяет:

- осуществлять расчет электроснабжения новых участков;
- создавать множество новых вариантов расчета электроснабжения участка;
- автоматизировать процесс расстановки потребителей по участкам;

- проводить проверочные расчеты электроснабжения действующих добычных участков;
- создавать множество новых вариантов схем электроснабжения для существующих добычных участков;

- корректировать результаты расчетов;
- просматривать результаты расчетов.

В соответствии с данным алгоритмом в начале расчета сотрудник отдела главного энергетика выбирает/создает участок для расчета, просмотра или корректировки.

После того как участок выбран/создан, формируется список электропотребителей в соответствии с технологической схемой расстановки оборудования для добычного участка угольной шахты. Список электропотребителей формируется на основании базы данных (БД), спроектированных в СУБД Access.

После расстановки электропотребителей, в соответствии с разработанным алгоритмом, рассчитывается мощность трансформаторной подстанции и производится расстановка потребителей по трансформаторным подстанциям. При этом учитываются мощность и напряжение электропотребителей и формируется несколько списков электропотребителей для каждой трансформаторной подстанции. Далее производится расчет, выбор и проверка кабельной сети участка. Следующими шагами являются выбор и проверка аппаратуры управления и защиты, расчет и выбор автоматических выключателей, пускателей и уставок. После этого рассчитывается осветительная сеть.

Алгоритм расчета/корректировки электроснабжения добычного участка имеет сложную структуру, состоящую из циклических и разветвленных участков (рисунок 2).

На основе данного алгоритма разработана автоматизированная система в среде программирования C Builder. АС РЭС функционирует в следующих режимах:

- информационном, при котором средства вычислительной техники осуществляют хранение и представление информации по запросу;

- в оперативно-расчетном, при котором средства вычислительной техники в диалоговом режиме выполняют задачи автоматизированного расчета с сохранением входных, выходных и промежуточных результатов.

Расчет электроснабжения начинается с формы выбора участка, на которой сотрудник отдела главного энергетика может:

- создавать участок и дату для расчета электроснабжения;
- создавать новые (по дате) расчеты для существующих участков с учетом изменения схемы расстановки технологического и/или электрического оборудования;
- корректировать результаты предыдущих расчетов для выбранного участка и варианта расчета;
- просматривать результаты расчетов;

- удалять расчет схемы электроснабжения с фиксированной датой;

- удалять информацию о технологическом участке с фиксированной датой.

После выбора участка и даты расчета происходит выбор электропотребителей участка из существующей базы данных, здесь же можно произвести, если это необходимо, замену электродвигателя электропотребителя участка, а также просмотреть характеристики электропотребителей и установленных электродвигателей.

На следующем шаге по сформированной нагрузке рассчитывается нагрузка на трансформаторную подстанцию.

Если в результате расчета выбрано 2 и более трансформаторных подстанций, то происходит расстановка электропотребителей по трансформаторным подстанциям с учетом мощности и напряжения. После расстановки электропотребителей проверяется нагрузка на трансформаторную подстанцию.

Затем, согласно технологической схеме расстановки оборудования, вводятся длины кабелей, и согласно алгоритму производится расчет и проверка кабельной сети. В случае необходимости сотрудник отдела главного энергетика может провести замену кабеля из БД, с последующей проверкой критериев его работоспособности.

На следующем шаге производится выбор аппаратуры управления и защиты. В случае необходимости в системе предусмотрена возможность замены пускателей, автоматических выключателей, уставок из справочников базы данных с последующей проверкой критериев их эксплуатации в схеме электроснабжения добычного участка.

Итоговая форма позволяет просмотреть весь список электропотребителей, выбранные понизительные подстанции, кабельную сеть, аппаратуру управления и защиты на одной общей форме.

Помимо вывода на экран по результатам расчета формируется выходной документ с основными расчетными таблицами и схемой электроснабжения участка.

Следует отметить, что существует достаточно большая вероятность принятия к технической реализации неверных расчетов схем электроснабжения добычных участков. Применение автоматизированной системы расчета электроснабжения позволяет снизить вероятность общего риска до доли физических лиц.

Таким образом, АС РЭС способствует:

- снижению трудоемкости делопроизводства в ОГЭ;
- повышению оперативности и снижению трудоемкости при проведении расчетов схем электроснабжения и энергообеспечения шахты;
- повышению качества расчета электроснабжения добычных участков угольных шахт за счет автоматизации основных процедур и, как следствие, снижению ошибок при проведении расчета.

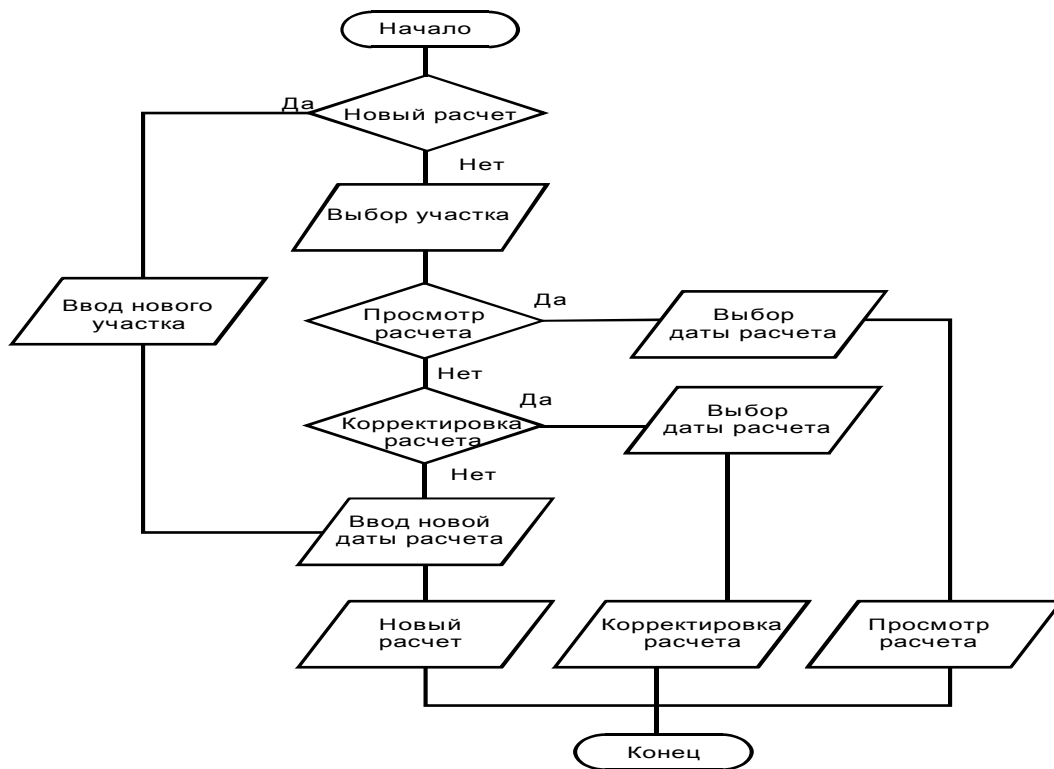


Рисунок 1 – Алгоритм автоматизированного расчета электроснабжения участка угольной шахты

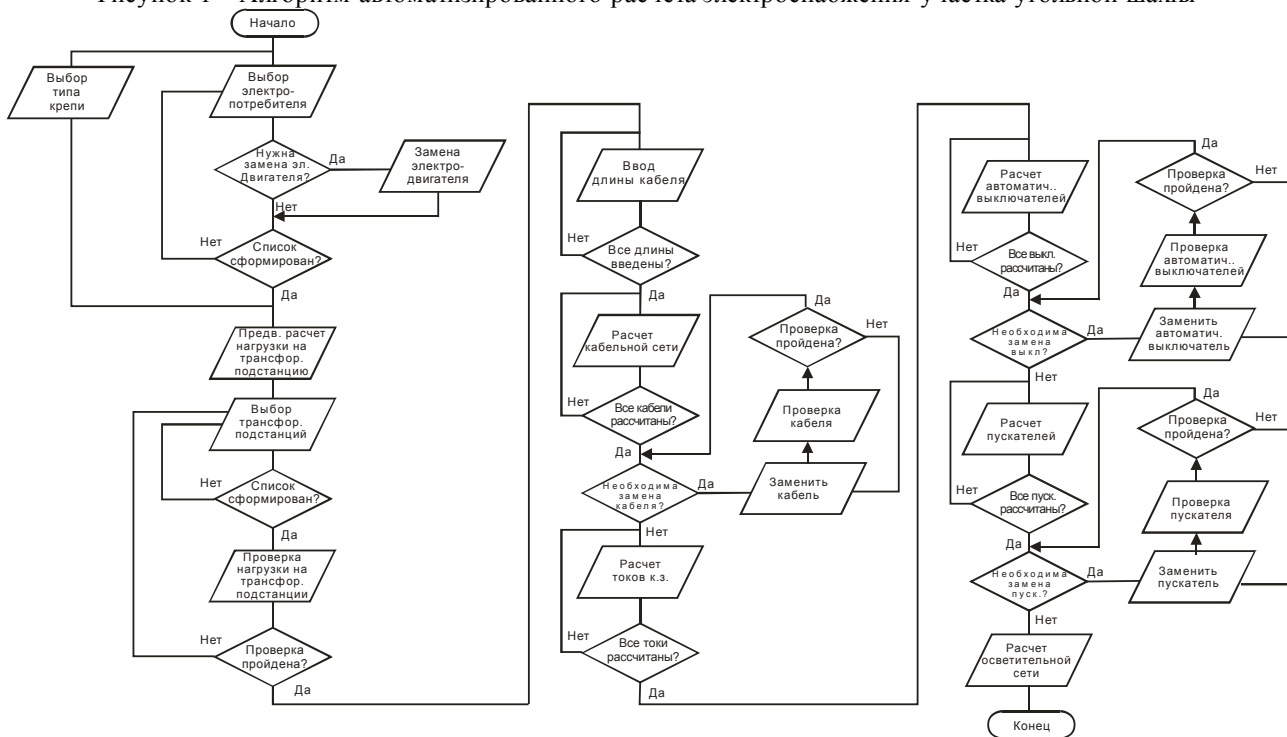


Рисунок 2 – Алгоритм расчета корректировки электроснабжения добычного участка

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Справочник по электроустановкам угольных предприятий. Электроустановки угольных шахт: Справочник / В.Ф. Антонов, Ш.Ш. Ахмедов, С.А. Волотковский и др. М.: Недра, 1988. 727 с.
2. Электрооборудование и электроснабжение участка шахты: Справочник / Р.Г. Беккер и др. М.: Недра, 1983. 503 с.
3. Дзюбан В.С., Риман Я.С., Маслий А.К. Справочник энергетика угольной шахты. М.: Недра, 1983. 542 с.
4. Овсянников Ю.А., Кораблев А.А., Топорков А.А. Автоматизация подземного оборудования: Справочник рабочего. М.: Недра, 1990. 287 с.
5. Риман Я.С., Соловей А.И. Устройства и эксплуатация электрооборудования стационарных установок шахт: Справочник рабочего. М.: Недра, 1991. 284 с.

УДК 621.316.9

БРЕЙДО И.В.,  
СМАГУЛОВА К.К.,  
ИСКАКОВ У.К.

## Методы адаптации параметров аппарата защиты от токов утечки в условиях колебания напряжения

Для обеспечения безопасности эксплуатации электрических сетей с изолированной нейтралью и электрооборудования в горнодобывающей промышленности широко применяются аппараты защиты от токов утечки. Ответственность решаемых с помощью аппаратов защиты от токов утечки задач делает необходимым предъявление особенно жестких требований к надежности и устойчивости работы этих аппаратов, к стабильности их характеристик и точности измерения контролируемых параметров изоляции сети.

Вследствие сложности физических явлений, связанных с токами утечки, известные на данный момент методы защиты, разработанные для аппаратов защиты от токов утечки, не в полной мере отвечают предъявляемым требованиям. В существующих аппаратах не осуществляется автоматической подстройки уставки срабатывания, что приводит к увеличению максимально допустимого длительного тока при двухфазном замыкании и при колебаниях напряжения контролируемой сети. В подземных сетях электроснабжения в процессе эксплуатации периодически изменяется протяженность защищаемых линий. Неконтролируемые изменения параметров защищаемых сетей приводят к снижению эффективности средств защиты. В сущности, аппарат защиты должен обладать адаптивными свойствами к изменяющимся характеристикам сети [1].

Разработка адаптивной системы защиты от токов утечки предлагается осуществить методами нечеткой логики. В области управления техническими системами методы нечеткой логики позволяют получать более эффективные результаты по сравнению с результатами, которые основываются на использовании традиционных аналитических моделей и алгоритмов управления.

Для получения представления о процессах, протекающих в сети с изолированной нейтралью, а также получения данных, необходимых для формирования критериев алгоритма управления, разработана модель сети в среде Matlab 7.01.

В качестве реагирующего элемента аппарата защиты от токов утечки, используется схема 3V. Схема 3V представляет собой систему вентиля, выпрямляющих оперативный ток в цепи изоляции сети. Из полученных в ходе экспериментов осциллограмм определены основные особенности процессов, происходящих на выходе схемы 3V, при однофазном и двухфазном замыкании.

Для формирования входных переменных алгоритма произведен предварительный анализ данных методом нечеткой логики. В результате предложена переменная «сигнал напряжения», являющаяся продуктом нечеткого вывода. Данная

переменная отображает наличие и количество фаз утечки.

В соответствии с порядком процедур нечеткого вывода алгоритмом Мамдани [2], составлена база правил, являющаяся основой алгоритма управления.

Для формирования базы правил систем нечеткого вывода необходимо предварительно определить входные и выходные лингвистические переменные.

Очевидно, что в качестве одной из входных лингвистических переменных следует использовать амплитуду напряжения на выходе схемы 3V:  $\beta_1$  – «амплитуда напряжения», а в качестве второй входной лингвистической переменной  $\beta_2$  – «сигнал напряжения».

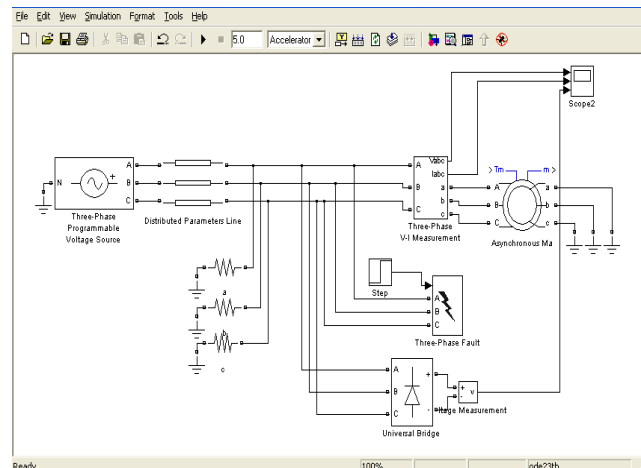


Рисунок 1 – Модель сети с изолированной нейтралью

В качестве выходной лингвистической переменной будем использовать уставку срабатывания аппарата:  $\gamma$  – «уставка срабатывания».

В этом случае система нечеткого вывода будет содержать 15 правил нечетких продукций следующего вида:

- Правило\_1: Если  $\beta_1$  есть PB и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть PB,  
 Правило\_2: Если  $\beta_1$  есть PB и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть PB,  
 Правило\_3: Если  $\beta_1$  есть PB и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB,  
 Правило\_4: Если  $\beta_1$  есть PS и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть PS,  
 Правило\_5: Если  $\beta_1$  есть PS и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть PS,  
 Правило\_6: Если  $\beta_1$  есть PS и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB,  
 Правило\_7: Если  $\beta_1$  есть ZE и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть ZE,  
 Правило\_8: Если  $\beta_1$  есть ZE и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть ZE,  
 Правило\_9: Если  $\beta_1$  есть ZE и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB,  
 Правило\_10: Если  $\beta_1$  есть NS и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть NS,  
 Правило\_11: Если  $\beta_1$  есть NS и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть NS,  
 Правило\_12: Если  $\beta_1$  есть NS и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB,  
 Правило\_13: Если  $\beta_1$  есть NB и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть NB,  
 Правило\_14: Если  $\beta_1$  есть NB и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть NB,



Правило\_15: Если  $\beta_1$  есть NB и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB, где NB (negative big) – отрицательно большое значение; NS (negative small) – отрицательно малое значение; ZE (approximately zero) – близкое к нулю; PS (positive small) – положительно малое значение; PB (Positive Big) – положительно большое значение.

Следующим шагом моделирования является фазификация входных переменных, представляющая процедуру получения четкого значения.

В качестве терм множества первой входной переменной будем использовать терм множество  $T_1 = \{NS, ZE, PS\}$  с функцией принадлежности, показанной на рисунке 2. В качестве терм множества второй входной переменной будем использовать терм множество  $T_2 = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$  с функцией принадлежности, показанной на рисунке 3. В качестве терм множества выходной переменной будем использовать терм множество  $T_3 = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$  с функцией принадлежности, показанной на рисунке 4.

Используя в качестве алгоритма вывода алгоритм Мамдани, рассмотрим пример его выполнения для случая, когда текущая амплитуда напряжения на выходе схемы 3V равна 400В, а сигнал напряжения равен 0. В этом случае фазификация первой входной переменной приводит к значению истинности 0,52 для термина NS, а фазификация второй входной переменной приводит к значению истинности 1 для термина ZE. Соответствующие подусловия используются в правиле нечеткой продукции с номером 11. Это правило считается активным и используется в текущем процессе нечеткого вывода.

Агрегирование с использованием операции нечеткой конъюнкции (1) подусловий 11 дает в результате число 0,52. Следующим этапом нечеткого вывода является заключение в нечетких правилах. Поскольку все заключения правил 1-15 заданы в форме нечетких лингвистических высказываний первого вида, а весовые коэффициенты правил по умолчанию равны 1, то активизация правила 11 приводит к одному нечеткому множеству:

$$T_3(T_1 \cap T_2) = \min\{T_1(\beta_2), T_2(\beta_2)\}. \quad (1)$$

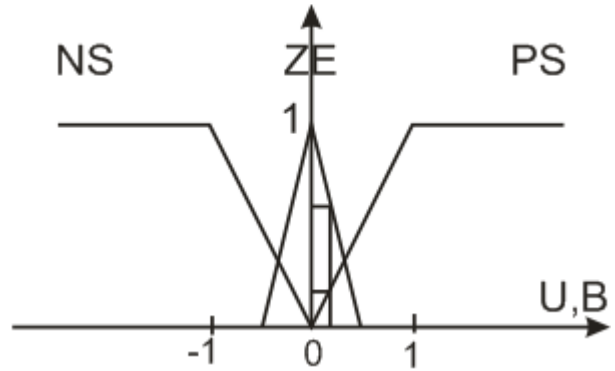


Рисунок 2 – Функция принадлежности «сигнал напряжения»

Аккумуляция заключений нечетких правил с использованием операции дизъюнкции по максимальному значению для правила 11 в результате приводит к нечеткому множеству, функция принадлежности которого изображена на рисунке 5.

Дефазификация выходной лингвистической переменной методом центра площади для значений функции принадлежности, изображенной на рисунке 5, приводит к значению управляющей переменной, равной уставке срабатывания аппарата 8,5 Ком (приближенное значение). Эта величина является допустимым значением уставки срабатывания аппарата в случае понижения напряжения сети на 15% от номинального.

В результате разработан алгоритм, обеспечивающий автоматическое изменение уставок защиты при изменении напряжения сети с изолированной нейтралью, а также при одно- и двухфазных утечках. Применение данного алгоритма управления для аппаратов защиты от токов утечки позволит повысить надежность и устойчивость системы защиты, предотвращая ложные срабатывания и появление токов утечки выше предельно допустимых значений.

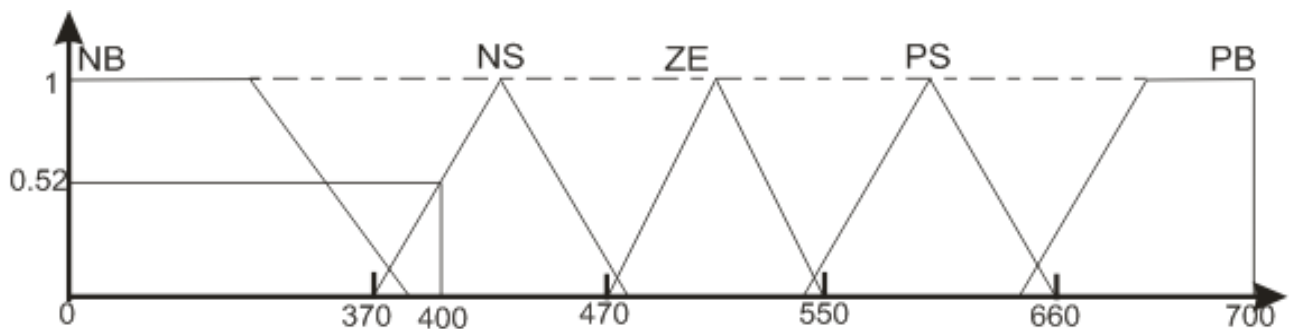


Рисунок 3 – Функция принадлежности «амплитуда напряжения»

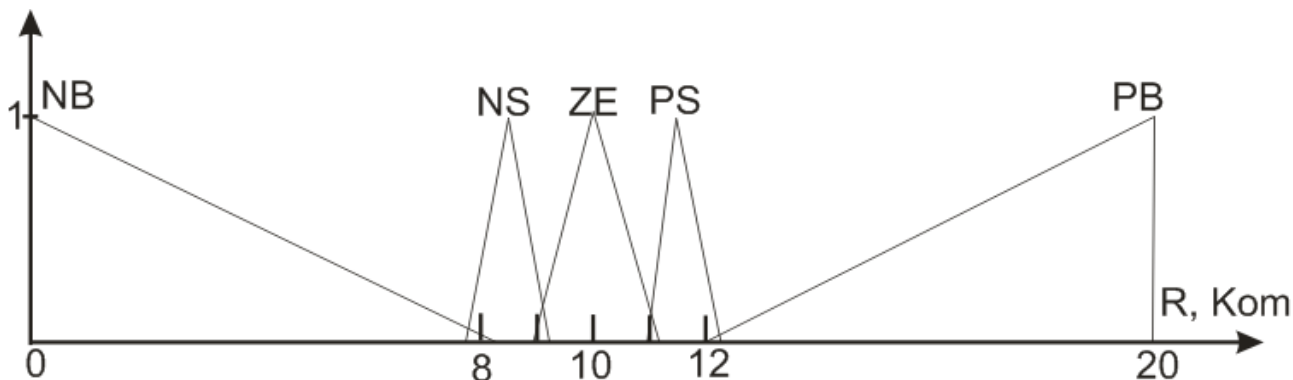


Рисунок 4 – Функция принадлежности «уставка срабатывания»

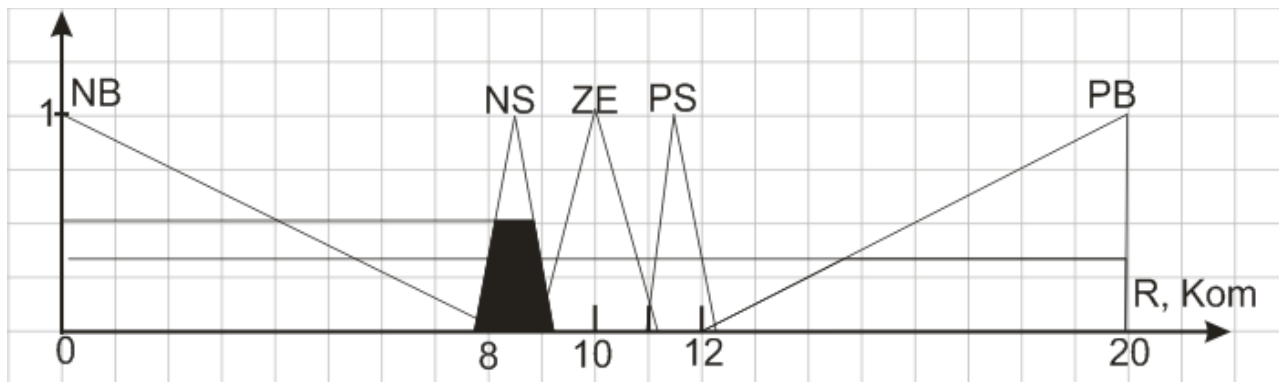


Рисунок 5 – График функции принадлежности двух нечетких множеств лингвистической переменной «уставка срабатывания» после аккумуляции

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Дзюбан В.С. Аппараты защиты от токов утечки в шахтных электрических сетях. М.: Недра, 1982. 152 с.
2. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде Matlab и Fuzzytech. Спб, 2005.

УДК 622.0025:621.314.632

**КРИЦКИЙ А.Б.,  
ФЕШИН Б.Н.**

**Супервизорное управление электротехническими комплексами систем теплоснабжения мегаполисов**

Эффективность функционирования систем теплоснабжения мегаполисов (СТМ) может быть повышена при использовании принципов супервизорного управления (super (лат) – сверху, visio (лат) – видеть, то есть: наблюдающая (видящая) сверху) электротехническими комплексами, в том числе статическими режимами асинхронных электроприводов насосных станций с частотным управлением.

Рассмотрим процесс интеграции программных комплексов информационно-графических систем типа ГИД-99w, ТГИД-05 в АСУ ТП СТМ с целью построения на их основе системы супервизорного управления.

Информационно-графические системы могут рассматриваться как основа программно-математического обеспечения АСУТП теплоснабжающих систем мегаполисов при решении задач управления режимами работы, контроля

состояния теплоснабжающих систем и защиты оборудования от аварийных режимов (в том числе от гидравлических ударов). ИГС ТГИД-05 обладает функцией интеграции с АСУТП.

Промышленная автоматизация уменьшает численность обслуживающего оборудование персонала, повышает надежность и долговечность машин, дает экономию материалов, улучшает условия труда и повышает безопасность производства. Высокий уровень производительности достигается благодаря тому, что используются эффективные технические средства автоматизации. Они обеспечивают автоматическое получение, передачу, преобразование, сравнение и использование информации в целях контроля и управления производственными процессами.

АСУ ТП системы теплоснабжения мегаполисов позволяет решать задачи:



– обеспечения в разные периоды времени стабильных комфортных или пониженных температур воздуха в отапливаемых помещениях на уровне, заданном самим потребителем;

– поддержания заданных гидравлических (давления, разности давлений) и тепловых (температуры) режимов в различных звеньях этих систем.

– экономии тепловой энергии или топлива, а также средств, расходуемых на их оплату, которая достигается путем максимального использования для отопления «бесплатных» теплопоступлений в помещения от людей, освещения, солнечной радиации, электрических приборов и т. д., для снижения температуры воздуха во временно неэксплуатируемых помещениях, а также температуры горячей воды в системе ГВС при ее длительном бездействии. При использовании средств автоматизации экономия теплоты или топлива составляет не менее 20% от их годового расхода;

– упрощения эксплуатации системы теплоснабжения;

– автоматизированная система не требует активного вмешательства человека в управление нормальной работой технологического оборудования;

– охраны окружающей среды за счет исключения выбросов в атмосферу продуктов сгорания экономленного топлива.

В настоящее время на рынке информационных технологий экономического пространства СНГ появились первые проекты АСУ ТП для отдельных технологических установок систем централизованного теплоснабжения (водоподготовительные установки источников тепла, насосные станции, центральные тепловые пункты, индивидуальные тепловые пункты потребителей). Программно-аппаратная платформа современных АСУ ТП строится на базе микропроцессорных программно-технических комплексов (ПТК), в составе которых могут быть средства цифровых промышленных сетей, позволяющих присоединять к одной шине сотни контроллеров и пультов и распределять их на значительные расстояния, широкий спектр контроллеров по вычислительным возможностям, широкий спектр информационных сетей для связи пультов операторов между собой, с серверами баз данных, для взаимодействия ПТК с сетью предприятия, средства взаимодействия пультов управления в режиме клиент/сервер.

Аппаратная платформа АСУ ТП технологических установок теплоснабжающей системы в зависимости от технологической сложности может иметь трехуровневую (источники тепла) или двухуровневую структуру (сетевые технологические установки). Нижний уровень представляют датчики с унифицированными сигналами, дискретные датчики, анализаторы, устройства связи с объектами, исполнительные механизмы регуляторов, электроприводы запорной арматуры, насосных агрегатов и прочих механизмов технологических схем установок. Средний уровень представлен станциями управления агрегатами (СУА) и общим для

технологических процессов оборудованием (в котельных установках – это станции управления отдельными котлами, водоподготовительной установкой, циркуляционной насосной станцией и т.п.). Станция управления содержит программируемые промышленные логические контроллеры (ПЛК), цветные сенсорные операторские панели, коммутационную аппаратуру, вторичные источники питания, промышленный концентратор информации. Верхний уровень представлен операторскими станциями, посредством которых производится контроль и управление всех технологических установок. В состав операторской станции входят: компьютер промышленного исполнения, принтер, источник бесперебойного питания, сетевой коммутатор. Операторские станции связываются с контроллерами станций управления посредством сети Ethernet. Программное обеспечение (ПО) операторских станций включает в себя базовое и прикладное ПО, работающее в режиме реального времени. Прикладное программное обеспечение разрабатывается в среде специализированных или инструментальных SCADA-систем.

АСУ ТП центральных тепловых пунктов (ЦТП), реализуется двухуровневой системой управления. Нижний уровень реализован на базе микропроцессорных программно-технических комплексов (ПТК) и обеспечивает управление технологическим оборудованием ЦТП и учет энергоносителей. Оборудование ЦТП может работать как автономно, так и в режиме управления с верхнего уровня. Верхний уровень представляет собой рабочее место диспетчера, оборудованное ПК. Диспетчер, например, района эксплуатации управляет работой нескольких ЦТП. Сбор данных и управление оборудованием ЦТП может выполняться по выделенным телефонным линиям, GSM- и радиоканалам. Информация об аварийной ситуации немедленно передается на верхний уровень системы и позволяет свести к минимуму время локализации аварийной ситуации. Функциональность АСУ ТП каждого ЦТП системы представлена следующими классами функций: контроль и регулирование параметров режима ЦТП, противоаварийная защита и сигнализация, программно-логическое управление насосами с нерегулируемым и частотно-регулируемым приводом, архивирование текущих значений аналоговых и дискретных параметров режима и аварийных событий, диспетчеризация.

Таким образом, структура иерархических систем управления теплоснабжением мегаполисов такова: сеть первичных датчиков передает на диспетчерский сервер данные по функционированию тепловых сетей (температура в контрольных точках, давление, расход воды, параметры работы насосов и т.д.), которые анализируются компьютерным программным комплексом. Этот программный комплекс производит автоматическое формирование и решение больших размеров систем нелинейных уравнений эксплуатационных и аварийных теплогидравлических режимов СТМ переменной технологической структуры. Инструменты программного комплекса

На рисунке 1 представлена концептуальная модель интеграции ИГС ТГИД-05 с АСУ ТП.

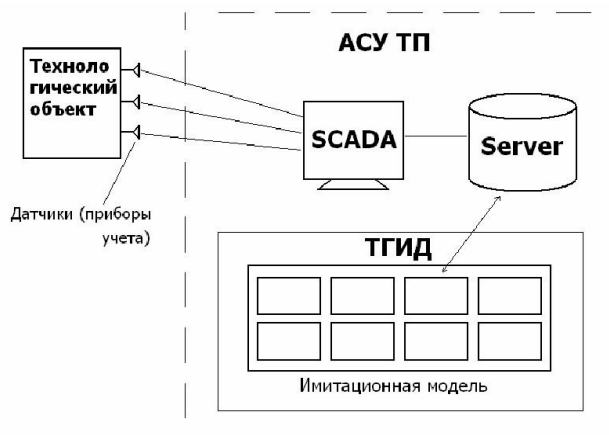


Рисунок 1 – Концептуальная модель интеграции ИГС ТГИД-05 с АСУ ТП

позволяют создавать реальную пространственную анимационную модель комплекса СТМ, на которой отражен каждый элемент (насос, трубопровод, задвижка, диафрагма и т.д.), его характеристики (диаметр труб, показания приборов учета) и положение в данный момент (включен или выключен, какова уставка в данный момент), что позволяет диспетчеру наглядно видеть работу всей сети и ее составляющих и непосредственно с экрана монитора управлять режимом, корректировать результаты как по элементам, так и глобально по всей модели. Кроме того, программный комплекс, в зависимости от сформулированной задачи, может автоматически поддерживать заданный режим, отражая свои действия для контроля оператора, которому предлагается оптимальный вариант достижения результата для окончательной оценки и принятия решения. Интерактивный режим работы с программным комплексом, где внесенные изменения любого параметра тут же отражают изменения результирующих величин, позволяет оперативно управлять конкретной энергетической ситуацией и просто незамедлительно при проектировании и реконструкции тепловых сетей и подборе оборудования.

Весь комплекс компьютерного управления работы теплосетей с устройствами для сбора информации и передачи управляющих команд – это новая технология, значение которой трудно переоценить при современном развитии энергетики промышленных предприятий и мегаполисов, где применяются мощные энергоисточники различных видов, длина сетей составляет сотни километров, а потребление хаотично изменяется.

Информационные системы для расчета теплогидравлических режимов больших теплоснабжающих систем, действующие в настоящее время в энергетических комплексах мегаполисов постсоветского пространства, не могут претендовать на роль программного компонента для верхнего уровня АСУ ТП, так как не обладают возможностями системной интеграции с программными компонентами АСУ ТП, работающими в реальном времени с данными, поступающими от аппаратных средств по стандарту OPC-клиент-серверной технологии. Кроме этого, эти системы не обладают новой функциональностью, адекватной возможностям совместной обработки условно-постоянной и измеренной информации, определяющей текущее состояние объектов теплоснабжающей системы и обеспечивающей основной экономический эффект от внедрения АСУ ТП.

Информационно-графическая система ТГИД-05, разработанная в КарГТУ (Караганда, Казахстан), является первой попыткой создания программного комплекса, который будет обладать возможностью интеграции со SCADA-системами, построенными на базе ведущих поставщиков ПТК мирового рынка, программное и аппаратное оборудование которых отвечает стандарту обмена данными OPC (OLE for Process Control).

На верхнем уровне СТМ (уровень оперативного управления установками и процессами, программирование, наладка и диагностика контроллеров среднего уровня, установка режимных карт, контрольных точек, блокировок, параметров настройки систем регулирования и т.п.) могут быть размещены:

- персональные компьютеры типа IBM PC в офисном исполнении, устанавливаемые на столах операторов пульта управления в качестве операторских станций, предназначенных для оперативной работы сменных диспетчеров, в качестве инженерных станций, предназначенных для инженерного персонала, выполняющего программирование, наладку и диагностику контроллеров, настройку регуляторов без остановки технологического оборудования, установку и настройку защит и блокировок, информационный сетевой обмен с АСУ предприятия и т. п.;

- промышленные компьютеры Pentium фирмы Advantech (Тайвань) + мониторы SVGA 15”+ указатели положения DuraPoint Mouse + функциональные клавиатуры T-161 фирмы TiPro, встраиваемые непосредственно в пульт управления агрегатов или установок;

- персональные компьютеры промышленного исполнения фирмы Advantech на базе процессорной платы PCA-6159H/ BARE (Pentium MMX) и 19” шасси IPC-620 с 21” монитором ViewSonic;

- серверы для ведения баз данных реального времени и для выполнения серверных компонентов ПО АСУ ТП;

- дублированные и одиночные персональные компьютеры промышленного производства (пункты управления - ПУ) в структуре автоматизированных рабочих мест сменных диспетчеров и операторов линейно-производственного управления;

- центральные концентраторы информации (ЦКИ) на базе рабочих станций, работающих в режиме серверов и поддерживающих функции диспетчерского управления. Концентратор информации (КИ)

выполняет функции сбора и обработки технологической информации с подчиненных ему КП и реализован на аппаратной платформе фирмы Ostagon Systems (США), обладающей повышенной устойчивостью к температурным и механическим воздействиям. Использована процессорная плата MicroPC 5066. КИ не имеет средств человеко-машинного интерфейса и выполняет свои функции в автоматическом режиме.

На компьютерах АСУ ТП верхнего уровня СТМ могут быть установлены различные операционные системы, работающие в режиме, максимально приближенном к режиму реального времени.

Основу программного обеспечения (ПО) АСУ ТП верхнего уровня составляет SCADA программа (Supervisory Control And Data Acquisition – система сбора данных и оперативного диспетчерского управления), реализующая все основные функции визуализации измеряемой и контролируемой информации, передачи данных и команд системе контроля и управления. Современные SCADA состоят из инструментального и исполнительного комплекса. Инструментальный комплекс предназначен для разработки конкретного ПО автоматизированных рабочих мест (АРМ) технолога, оператора, диспетчера и др. Исполнительный комплекс реализует разработанное ПО в определенной операционной среде.

Диспетчерское управление, сочетающее интеллектуальные возможности профессионально подготовленных людей (диспетчеров) и информационных технологий, обеспечивающих процесс принятия оперативных и долгосрочных диспетчерских решений достоверными и исчерпывающими профессиональными знаниями, является в настоящее время основным методом автоматизированного управления сложными техногенными системами большой энергетики, наземного и воздушного транспорта и систем городских мегаполисов.

Требования безопасности и надежности диспетчерского управления являются преобладающими на множестве общего комплекса требований к АСУ ТП, так как выдача ложной команды на объект управления при любом единичном отказе оборудования или единичной ошибке оператора недопустима.

SCADA-система занимает основную часть функциональной схемы АСУ ТП верхнего уровня

СТМ, представленной на рисунке 2. На ней выделены пять функций человека-оператора в системе диспетчерского управления как набор вложенных циклов, в которых оператор:

- планирует, какие следующие действия необходимо выполнить;
- обучает (программирует) компьютерную систему на последующие действия;
- отслеживает результаты полуавтоматической работы системы;
- обрабатывает критические ситуации, требующие принятия ответственных решений (когда автоматика не может справиться, либо при необходимости подстройки (регулировки) параметров процесса);
- обучается в процессе работы (получает опыт).

Основными особенностями процесса управления в современных диспетчерских системах являются следующие:

- процесс SCADA применяется в системах, в которых обязательно наличие человека (оператора, диспетчера);
- оператор несет, как правило, общую ответственность за управление системой, которая, при нормальных условиях, только изредка требует подстройки параметров для достижения оптимальной производительности;

– активное участие оператора в процессе управления происходит нечасто и в непредсказуемые моменты времени, обычно в случае наступления критических событий (отказы, нештатные ситуации и пр.);

- действия оператора в критических ситуациях могут быть жестко ограничены по времени (несколькими минутами или даже секундами).

К SCADA-системам АСУ ТП верхнего уровня СТМ предъявляются следующие основные требования:

- надежность системы (технологическая и функциональная);
- безопасность управления;
- точность обработки и представления данных;
- простота расширения системы.

Основные функции SCADA-систем АСУ ТП верхнего уровня СТМ, в соответствии с рисунком 2, следующие:

- сбор текущей информации от контроллеров или других приборов и устройств, связанных непосредственно или через сеть с пультом оператора;

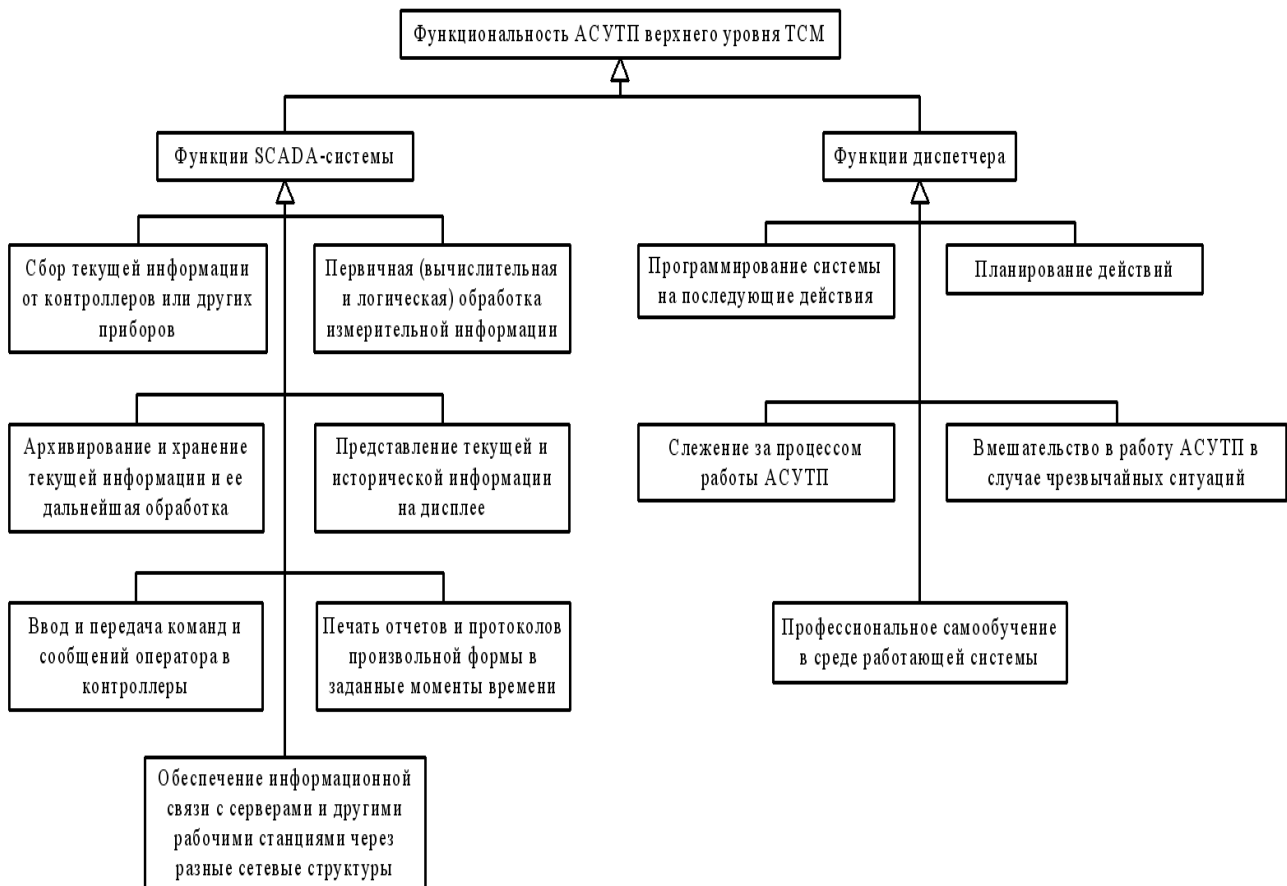


Рисунок 2 – Функциональная схема АСУТП верхнего уровня ТСМ

- первичная (вычислительная и логическая) обработка измерительной информации;
- архивирование и хранение текущей информации и ее дальнейшая необходимая обработка;
- представление текущей и исторической информации на дисплее (реализация динамизированных мнемосхем, гистограмм, анимационных изображений, таблиц, графиков, трендов, выделение аварийных ситуаций и т.д.);
- печать отчетов и протоколов произвольной формы в заданные моменты времени, показ и запись аварийных ситуаций в моменты их возникновения;
- ввод и передача команд и сообщений оператора в контроллеры и другие устройства системы;
- информационные связи с серверами и другими рабочими станциями через разные сетевые структуры.

Предполагается использование SCADA-системы WinCC. WinCC – это система визуализации, которая сводит вместе на платформе Windows NT ноу-хау фирмы Siemens – ведущего поставщика продуктов в области автоматизации процессов, и компетенцию компании Microsoft – ведущей на мировом рынке в области разработки программного обеспечения для персональных компьютеров.

WinCC – это сокращение от Windows Control Center [Центр управления Windows], он предоставляет пользователю все возможности для надежного управления процессом в стандартной среде Windows NT.

WinCC – первый в мире IHMI (Integrated Human Machine Interface [Интегрированный Человеко-Машинный Интерфейс]) – программная система, которая полностью интегрирует программное обеспечение пользователя для управления установкой в автоматизируемый процесс. Его удобные к использованию компоненты автоматизации предлагают беспрепятственную интеграцию в новые или уже существующие установки.

WinCC комбинирует современную архитектуру приложений Windows NT с простотой использования графической разработки программ. Он предоставляет все необходимые функции для построения полного мониторинга процесса и решения задач управления.

Принципиально важно наличие в WinCC средств, позволяющих получать информацию от датчиков, обрабатывать её и воздействовать на исполнительные механизмы и частотные преобразователи.

В полнофункциональной АСУ ТП ТСМ компонентой верхнего уровня, играющей роль системного интегратора, выступает ИГС ТГИД-05, которая в рамках супервизорной системы управления позволяет решать задачи в режимах разделенного и реального времени, связанные с выбором задающих воздействий для частотно-управляемых электроприводов насосных станций каждой ветви теплоснабжающей сети с обеспечением в этих ветвях требуемых пьезометров.

УДК 621.865.8  
ШПАКОВА Л.Г.

## Реализация системы управления координированием манипулятора методами fuzzy-логики

Робот является машиной автоматического действия, объединяющей свойства исполнительных и информационных устройств. Таким образом, робот – это принципиально новый вид машин. В достаточно развитом виде роботы, аналогично человеку, осуществляют активное силовое и информационное взаимодействие с окружающей средой и благодаря этому могут не только обладать искусственным интеллектом, но и совершенствовать его.

Роботов-манипуляторов (РМ) выделяют в отдельный класс. Манипулятор – управляемое устройство, предназначенное для выполнения сложных действий, операций, аналогичных движениям руки человека [1].

В качестве объекта экспериментов был выбран учебный робот-манипулятор, произведенный НИИ «Уралучтех» (Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск).

РМ – сложный механизм, на качество работы которого влияет множество параметров, которые, в свою очередь, могут привести к различным ошибкам. Поскольку все возможные причины возникших ошибок не могут быть известны, то реализация «нечеткого» fuzzy-регулятора имеет определенное преимущество. Кроме того, использование классических замкнутых алгоритмов управления, таких как пропорционально-интегрально-дифференциальный (PID), является недостаточным, если замкнутая система вынуждена приспосабливаться к условиям работы двигателя. Использование fuzzy-логики имеет большой потенциал в области искусственного интеллекта и мехатроники. Fuzzy-логика имитирует человеческий способ мышления и процесс принятия решений [2].

В отличие от всех остальных регуляторов в fuzzy-регуляторе определение входных и выходных переменных осуществляется в лингвистической форме, что и является важным преимуществом данного подхода. Использование лингвистической интерпретации переменных значительно упрощает процесс описания систем любой сложности.

Исходная идея теории нечетких множеств (ТНМ) заключается в том, чтобы принадлежность элементов к тому или иному множеству определять не в форме однозначных ответов «да» или «нет», как в традиционной теории множеств, а с помощью ответов типа «может быть», «вероятнее всего». Для этого используются так называемые функции принадлежности, которые могут принимать любые промежуточные значения между единицей, соответствующей, как и в алгебре, логике, однозначному «да», и нулем, соответствующим «нет» [3].

В нечеткой логике вводится понятие лингвистической переменной, значениями которой являются не числа, а слова естественного языка, называемые термами. Например, в случае управления схватом робота можно ввести две лингвистические переменные: ДИСТАНЦИЯ (расстояние до помехи) и НАПРАВЛЕНИЕ (угол между продольной осью робота и направлением на заданную точку).

Рассмотрим лингвистическую переменную ДИСТАНЦИЯ. Значениями ее можно определить термами ОЧЕНЬ ДАЛЕКО, ДАЛЕКО, БЛИЗКО и ОЧЕНЬ БЛИЗКО. Для физической реализации лингвистической переменной необходимо определить точные физические значения термов этой переменной. Пусть переменная ДИСТАНЦИЯ может принимать любое значение из диапазона от нуля до бесконечности. Согласно положениям теории нечетких множеств, в таком случае каждому значению расстояния из указанного диапазона может быть поставлено в соответствие некоторое число от нуля до единицы, которое определяет степень принадлежности данного физического расстояния (допустим, см) к тому или иному терму лингвистической переменной ДИСТАНЦИЯ. Степень принадлежности определяется так называемой функцией принадлежности  $\mu(d)$ , где ось абсцисс – расстояние до помехи.

На рисунке 1 расстоянию, равному 7 см, соответствуют терм БЛИЗКО, имеющий степень принадлежности  $\mu = 0,6$ , и терм ДАЛЕКО, для которого  $\mu = 0,4$ .

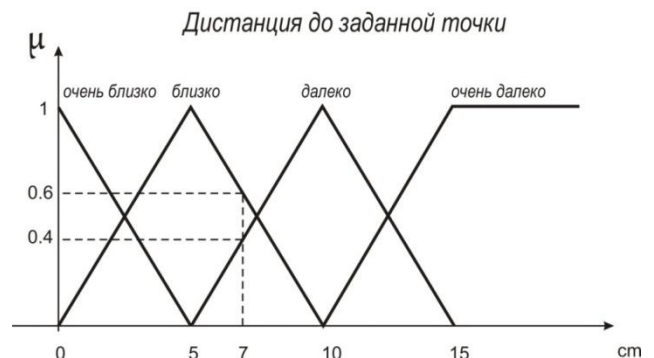


Рисунок 1 – Лингвистическая переменная и функция принадлежности

Переменной ПОЛОЖЕНИЕ схвата, которая может принимать значения в диапазоне от 0 до  $n$  градусов (в зависимости от сочленения), зададим термы СЛЕВА, СПРАВА, ВВЕРХУ, ВНИЗУ, ВПЕРЕДИ, СЗАДИ.

Теперь необходимо задать выходные переменные. В рассматриваемом примере достаточно двух, которые будут называться СКОРОСТЬ и РУЛЕВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ. СКОРОСТЬ может содержать

термы: БЫСТРО, МЕДЛЕННО, СРЕДНЕ и СТОП. Выходная переменная РУЛЕВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ может содержать термы ВЛЕВО, ВПРАВО, ВНИЗ, ВВЕРХ, ВПЕРЕД, НАЗАД.

Объединенная процедура определения функций принадлежности (ФП) нечеткого правила «ЕСЛИ-ТО» и агрегирования нескольких таких правил называется инференц-процедурой или инференцией.

В нашем случае всю представленную ранее базу правил можно привести к виду, изображенному на рисунке 2.

		Distance			
		ZE	PM	PB	PBB
Position	N	ST	SN	MN	QN
	P	ST	SP	MP	QP

Рисунок 2 – Таблица правил для робота-манипулятора

Здесь: position – положение (P – положительное, N – отрицательное); distance – дистанция (ZE – очень близко, PM – близко, PB – далеко, PBB – очень далеко). И выходные переменные: ST – стоп; SN – медленно отрицательно; SP – медленно положительно; MN – среднеотрицательно; MP – среднеположительно; QN – быстро отрицательно; QP – быстро положительно.

Агрегирование, или композиция нескольких правил «ЕСЛИ-ОТ», связанных союзом «ИЛИ», осуществляется путем максимизации ФП всех объединяемых правил.

При осуществлении инференц-процедуры наиболее часто применяют метод максимина, в котором получают трапецию, ограниченную термой и функцией принадлежности [3].

Для того чтобы по полученной таким образом результирующей ФП найти конкретное значение управляющего воздействия  $y$ , применяют процедуру дефазификации. Наибольшее распространение получил метод «центра тяжести», согласно которому значение  $y$  – управляющего воздействия находят как абсциссу «центра тяжести» площади, расположенной под графиком ФП.

На рисунке 3 проиллюстрированы основные процедуры fuzzy-логики для двух нечетких правил «ЕСЛИ-ТО» для робота-манипулятора. Они содержат две нечеткие переменные  $x_1$  и  $x_2$  (дистанция до точки и положение соответственно), соединенные союзами

«И», «ИЛИ».

Проиллюстрируем процедуры fuzzy-логики для робота-манипулятора, в котором входные переменные  $x_1=3$  и  $x_2=0,3$ . Алгоритм нечеткого управления представлен следующими четырьмя правилами:

$$\begin{cases} \text{I } \delta \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{e} \hat{i} \text{ 1: } \hat{A} \hat{N} \hat{E} \hat{E} \hat{D} \hat{I} \hat{e} \hat{D}, \delta \hat{i} \text{ SP,} \\ \text{I } \delta \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{e} \hat{i} \text{ 2: } \hat{A} \hat{N} \hat{E} \hat{E} \hat{D} \hat{I} \hat{e} \hat{N}, \delta \hat{i} \text{ SN,} \\ \text{I } \delta \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{e} \hat{i} \text{ 3: } \hat{A} \hat{N} \hat{E} \hat{E} \text{ ZE } \hat{e} \hat{e} \hat{D}, \delta \hat{i} \text{ ST,} \\ \text{I } \delta \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{e} \hat{i} \text{ 4: } \hat{A} \hat{N} \hat{E} \hat{E} \text{ ZE } \hat{e} \hat{e} \hat{N}, \delta \hat{i} \text{ ST.} \end{cases}$$

Выполняя процедуру агрегирования, получаем результирующую ФП, соответствующую агрегируемым функциям. Найденное в результате дефазификации по методу центра тяжести  $y = 0,85$ .

Путем перепрограммирования микроконтроллера PIC16F877A, являющегося центральным звеном системы управления роботом, полученная база правил была внесена в код управления робота-манипулятора.

На рисунке 3 показан график достижения предельных значений в рамках исходной системы управления и при помощи fuzzy-регулятора. Ось – это механический предел. Посылка управляющих импульсов происходит с частотой 20 мс. При достижении предельного значения управляющее воздействие продолжается, но работа останавливается, что приводит к сбою системы.

График приближения к заданной точке при помощи fuzzy-регулятора изображен на рисунке 4. По мере приближения уровня выходного сигнала к заданному скорость управляющего воздействия постепенно замедляется до полной остановки.

При сравнении видно, что время достижения при fuzzy-регулировании уменьшилось с 60 мс до 20 мс за счет последовательной посылки сначала импульсов с высокой частотой, и замедление по мере приближения к заданной точке.

В процессе создания системы управления пятизвенным роботом-манипулятором решены задачи реализации методов нечеткой логики, спроектирована база правил fuzzy-регулятора, создан новый программный код для PIC контроллера.

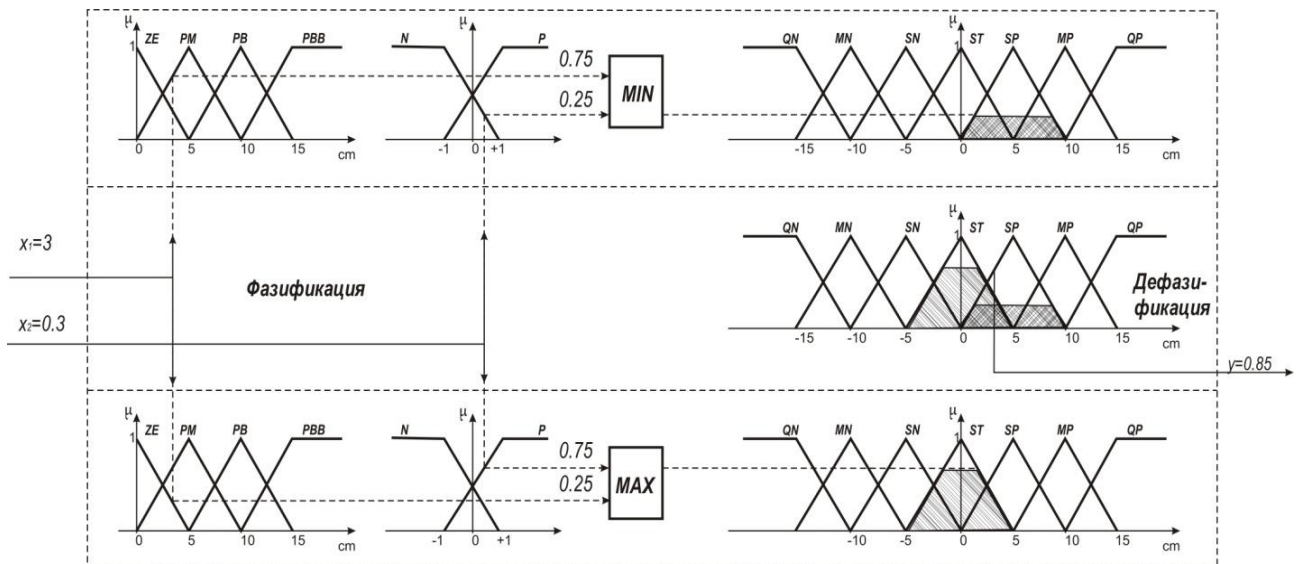
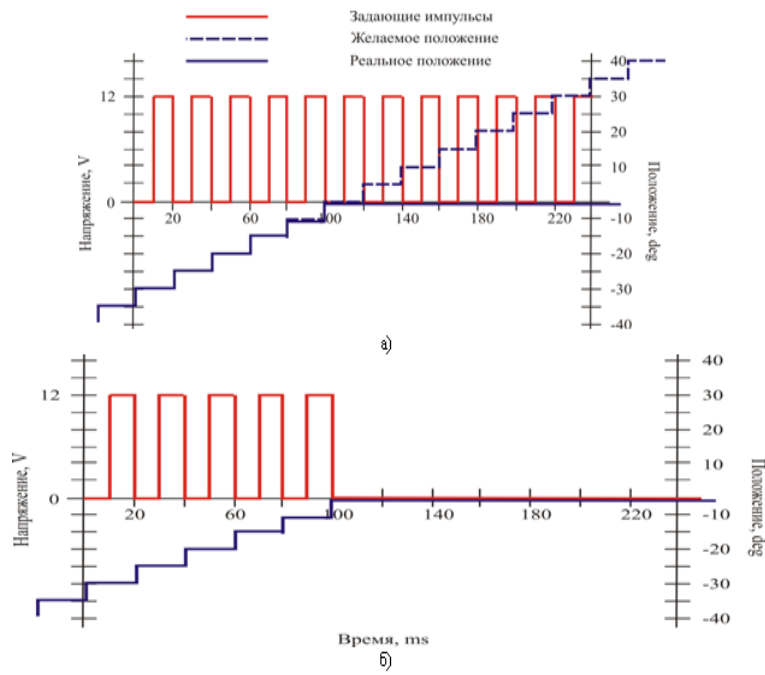


Рисунок 3 – Реализация процедур fuzzy-логики для двух управляющих правил

Разработанный нечеткий регулятор является лучшим вариантом управления сложной задачи координирования схвата многозвенным роботом-манипулятором.

Экспериментальные результаты, представленные в настоящей работе, подтверждают эффективность использования нечеткого регулятора в управлении роботом-манипулятором.



а) исходной системы управления, б) при помощи fuzzy-регулятора

Рисунок 3 – График достижения предельных значений



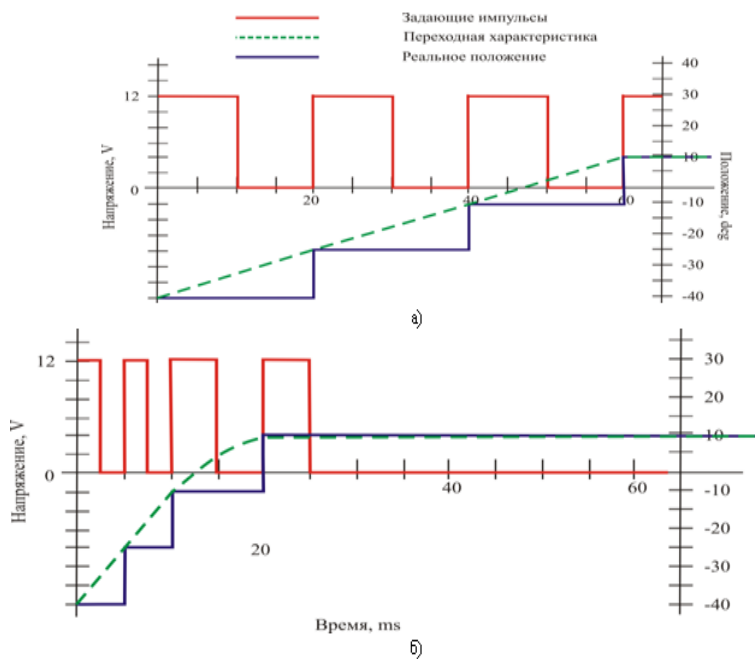


Рисунок 4 – Приближение РМ к заданной точке

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Накано Э. Введение в робототехнику / Пер. с япон. М.: Мир, 1988. 334 с.
2. Rezeki S.F., Elsodany N.M., Maharem N.A., Fuzzy gain scheduling control of a stepper motor driving a flexible rotor / European Journal of Scientific Research, 2010. №1. P.50-63.
3. Лукас А.В. Основы фазы-управления: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Автоматизация и управление». Екатеринбург, 2000. 62 с.

УДК 622.44:681.518.3

**БРЕЙДО И.В.,  
СИЧКАРЕНКО А.В.,  
ШПАКОВ М.А.**

**Подсистема обработки и хранения информации в системе пред- и поставарийного контроля состояния электрооборудования и технологической среды**

Наиболее распространенной причиной взрывов на шахтах является недопустимая концентрация метана и наличие источников его воспламенения, включая неисправное электрооборудование, искрообразование при коммутации электрических аппаратов с открытыми, в нарушение правил эксплуатации, оболочками взрывозащищенного электрооборудования.

Из-за прекращения функционирования шахтных систем контроля безопасности в момент аварии в дальнейшем не удастся полностью воссоздать процесс развития аварийной ситуации.

Решением проблемы объективного документированного поставарийного контроля для угольных шахт, опасных по газу, пыли и внезапным выбросам, является создание системы пред- и поставарийного контроля (СПАК) технологической среды по образу и подобию авиационных «черных ящиков», основное назначение которого – получение, регистрация, хранение информационных параметров технологической среды как до аварийной ситуации, так и во время аварии, и, что более важно, после нее. Это позволит при анализе причин аварии обладать информацией, которая ранее не была доступна [1].

В процессе сбора информации системой должны контролироваться режимы работы электрооборудования и параметры технологической среды. Объектами контроля режимов работы электрооборудования являются пускатели и автоматы, распределяющие электроэнергию в пределах участка. Контролируемыми параметрами, в данном случае являются: наличие электрической энергии в участковом взрывозащищенном электрооборудовании, целостность кабеля и несанкционированный доступ внутрь оборудования.

Пожары, взрывы и внезапные выбросы сопровождаются повышением температуры, световой, звуковой и ударной волнами. Поэтому параметрами контроля технологической среды являются: контроль содержания метана CH<sub>4</sub>; контроль изменения давления шахтной атмосферы; контроль светового потока, преимущественно в инфракрасной области; акустический контроль; температурный контроль; контроль ускорения и изменения положения корпуса СПАК.

Исходя из требований к СПАК [2], можно разделить работу устройства между основными подсистемами:



1. Подсистемы контроля газовой среды;
2. Подсистемы контроля режимов работы электрооборудования;
3. Подсистемы передачи информации по низковольтной сети;
4. Подсистемы контроля, хранения и обработки информации;
5. Подсистемы съёма информации с устройства.

Структурная схема подсистемы обработки и хранения информации изображена на рисунке.

Подсистема производит сбор информации с различных аналоговых и дискретных датчиков, установленных как за пределами системы, так и датчиков, установленных внутри системы (встроенных во взрывозащитный кожух). Причем все внутренние датчики продублированы, на случай выхода основных датчиков из строя вследствие взрыва.

Информация с датчиков, через блок согласования и гальванической развязки поступает на вход центрального микроконтроллера dsPIC30F6012A. Центральный микроконтроллер производит проверку сигналов на их предаварийное или аварийное состояние, на изменения, происшедшие относительно предыдущих измерений, и в зависимости от этих данных принимает решение об их сохранении.

Для сохранения информации используются два независимых блока хранения информации. Каждый блок находится под управлением микроконтроллера PIC18F4520.

Сохранение информации производится на Flash – носителе информации в формате MMC (Multi Media Card) (далее MMC). Обмен данными между каждым блоком хранения информации с центральным

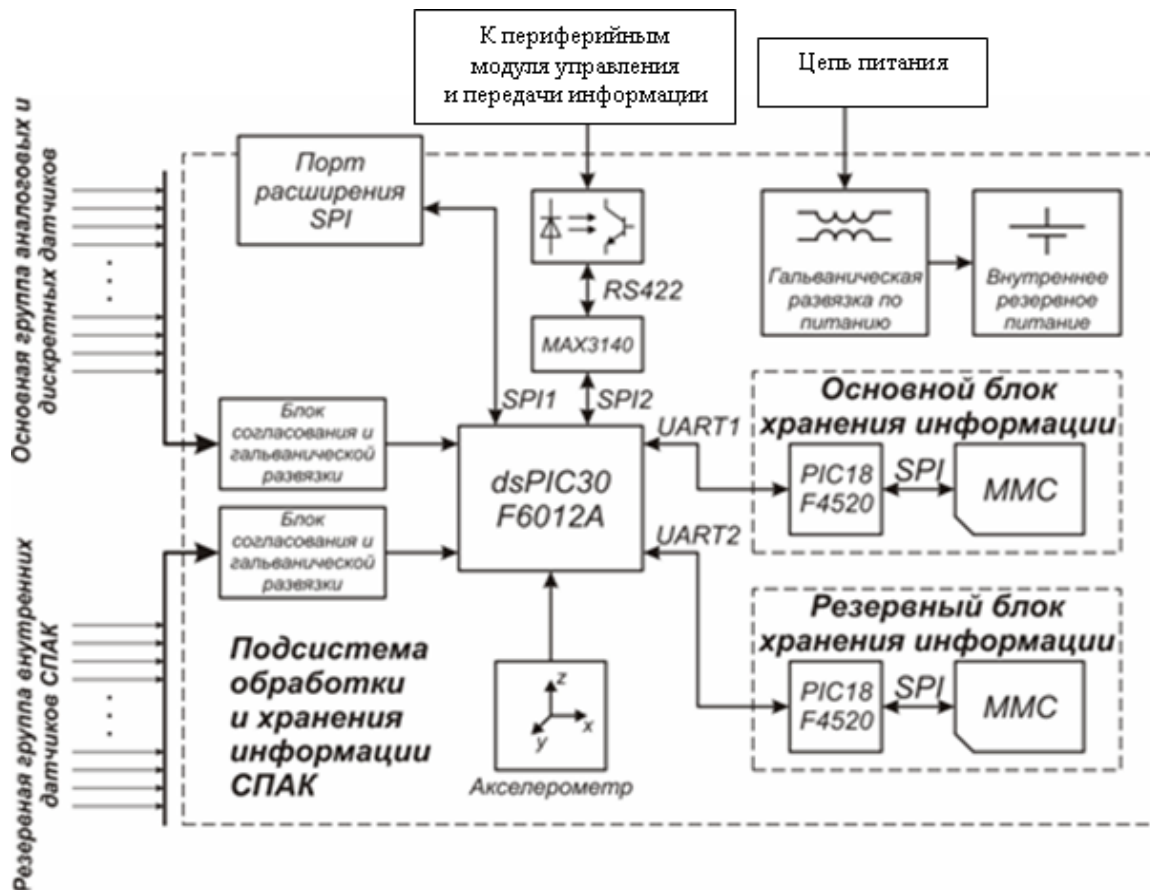
микроконтроллером происходит через интерфейс USART.

Блок акселерометра состоит из 2 типов акселерометров: один для регистрации слабых колебаний +/-3g, а другой для регистрации ударных действий +/-100g.

Для подключения плат расширения предусмотрен соответствующий порт, работающий через интерфейс SPI (Serial Peripheral Interface – последовательный периферийный интерфейс) – один из внутрисхемных интерфейсов связи. Платы расширения предназначены в первую очередь для увеличения числа обрабатываемых аналоговых и дискретных входов. Для работы с периферийными модулями системы, а также для обмена информацией с «внешним миром» и настройкой подсистемы сбора и обработки информации используется второй интерфейс SPI, который с помощью высокоскоростного преобразователя SPI/RS422 и гальванической развязки может работать сразу с несколькими удалёнными устройствами в дуплексном режиме.

Для обеспечения электроискробезопасности цепь питания так же, как все интерфейсы, для подключения внешних датчиков имеет гальваническую развязку.

Отключение электроэнергии, являющееся одним из признаков аварийной ситуации, приводит к переводу устройства на автономное питание от встроенных аккумуляторных батарей. Анализ аварий и следующие за ними мероприятия по ликвидации последствий, а также выяснение причин самих аварий требует продолжения работы устройства в автономном режиме. Ёмкость автономного источника предусматривается достаточной для работы СПАК в течение 7 дней [1].



Структурная схема подсистемы обработки и хранения информации системы и пред- и поставарийного контроля

С целью корректного сохранения данных, в случае окончания заряда основных аккумуляторных батарей, подсистема прекращает работу по анализу входных аналоговых или дискретных данных и переходит в режим пониженного энергопотребления.

Алгоритм обработки данных СПАК

Во время стандартной работы устройства для сохранения свободного места на Flash-носителе данные с датчиков должны сохраняться с периодичностью один раз в 5 минут. Такая периодичность сохранения данных позволит сократить их размер в сутки до  $24 \cdot 12 \cdot (N/8) + M + K + 1$  байт, где 24 – количество часов в сутках, 12 – количество 5-минутных интервалов в часе, N – количество дискретных датчиков, M – количество аналоговых датчиков, K – строка сопоставления времени события (HH.MM.SS.MS), 1 – символ переноса строки. Однако для ещё большей экономии места можно создавать относительные временные метки, то есть записывать не полное время события, а промежуток времени, в миллисекундах, прошедших с момента последней записи. Таким образом, если брать промежуток в 5 минут, необходимо затратить 4 байта на запись времени и ещё 1 байт – идентификатор сокращённой записи, итого 5 байт. После преобразования с учётом вышесказанного формула примет вид  $24 \cdot 12 \cdot (N/8) + M + 3 + 1$  или  $24 \cdot 12 \cdot (N/8) + M + 4$ . Но и это ещё не предел для сокращённой записи информации с датчиков: нет необходимости дублировать неменяющуюся

информацию. То есть, если за период в 5 минут состояние датчиков не изменилось относительно предыдущего, то и нет необходимости записывать эту информацию. Однако если изменилось состояние менее половины датчиков, то целесообразнее будет сохранять информацию, сопоставляя каждое изменившееся значение с его идентификационной меткой. А при неизменном состоянии всех датчиков можно производить запись специальной однобайтной метки, сведя тем самым количество сохраняемой информации к минимуму.

Так как устройство будет производить опрос датчиков с частотой 1 кГц, то для регистрации изменений состояния какого-либо датчика также удобно использовать короткую запись, потому что изменение состояния более половины датчиков в столь короткий промежуток времени маловероятно.

Регистрация аварийных ситуаций происходит следующим образом. Если акселерометром зарегистрирован толчок СПАК с большим ускорением (значение такого ускорения необходимо установить экспериментально) и от внешних датчиков прервался сигнал, то нет необходимости регистрировать отсутствующий сигнал. Для этого можно записать метку об обрыве связи с внешними датчиками и далее производить регистрацию сигналов только с внутренних датчиков устройства. Однако при обнаружении аварийной ситуации и продолжающей поступать информации от внешних датчиков, естественно эту информацию необходимо

регистрировать так же, как и в штатном режиме, однако, в зависимости от типа аварийной ситуации, с большей частотой. Частота сохранения контрольных точек, продолжительность аварийных ситуаций приведены в таблице.

Частота сохранения контрольных точек

Ситуация (сигнал о её начале)	Частота сохранения контрольных точек	Продолжительность ситуации, сигнал о прекращении ситуации	Примечание
Штатный режим	5 минут		Сохраняются также все изменения состояния любого датчика
Световая вспышка без толчка	10 секунд	30 минут без регистрации других аварийных ситуаций	
Превышение предельно допустимой температуры	1 секунда	Снижение температуры до нормального уровня	
Превышение предельно допустимого уровня $CH_4$	5 секунд	Снижение уровня концентрации до нормального	
Превышение предельно допустимого уровня $CO$	5 секунд	Снижение уровня концентрации до нормального	
Превышение предельно допустимого уровня $CO_2$	5 секунд	Снижение уровня концентрации до нормального	
Снижение до предельно допустимого уровня $O_2$	5 секунд	Нормализация концентрации	
Достижение предельно допустимого давления внешней атмосферы	1 секунда	Нормализация давления	
Превышение установленного уровня звукового давления	1 секунда	1 минута без регистрации других аварийных ситуаций	
Открытие дверцы кожуха	10 секунд	Весь период состояния открытой дверцы и 30 минут после её закрытия	
Регистрация взрыва (сильный толчок, резкое изменение давления, резкий всплеск звукового давления, повышение температуры, снижение уровня $O_2$ , повышение уровней $CO$ и $CO_2$ , прекращение подачи внешнего питания)	Показания акселерометра и датчика атмосферного давления с периодичностью 1 миллисекунда, остальные показатели с периодичностью 1 секунда	Акселерометр и датчик атмосферного давления во время, и в течение 10 минут после прекращения изменения показаний. Остальные показатели до стабилизации значения всех из них. После стабилизации всех показателей, контрольные точки с датчиков берутся с периодичностью в 1 минуту в течение суток, после чего устанавливается периодичность в 5 минут.	К данной аварийной ситуации приводит комбинация из зафиксированного толчка и любой другой предаварийной ситуации.
Слабый толчок	10 секунд	30 минут без регистрации других аварийных ситуаций	
Сильный толчок	1 секунда	1 час без регистрации других аварийных ситуаций	Данные с акселерометра сохраняются с периодом в 100 миллисекунд до полного прекращения изменений.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Брейдо И.В., Сичкаренко А.В. Принципы построения автоматизированных систем поставарийного контроля угольных шахт / ДГП «Институт горного дела им. Д.А. Кунаева» // Научно-техническое обеспечение горного производства: Тр. Т. 71, Алматы, 2006. С. 220-224.
2. Брейдо И.В., Сичкаренко А.В. Режимы работы интеллектуальной системы пред- и поставарийного контроля угольных шахт // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-21: Тр. XXI Междунар. науч. конф., 27-31 мая 2008 г. / Саратовский гос. техн. ун-т. Саратов, 2008.

## Раздел 3

### Автоматика. Энергетика. Управление

УДК 656.021

СУЛЕЙМЕНОВА Л.К.,  
ЯВОРСКИЙ В.В.

#### Задачи формирования моделей определения и реализации транспортной потребности населения города

Городской пассажирский транспорт (ГПТ) является сложной системой массового обслуживания, поэтому параметры обслуживания зависят от потока «заявок на обслуживание». С этой точки зрения правильность решения всего комплекса задач транспортного планирования определяется тем, насколько точно определены транспортные потребности. В самом общем виде решение задач транспортного планирования - это определение таких параметров транспортной системы, которые наилучшим образом соответствуют потребностям в передвижениях.

Для решения задач, связанных с планированием инфраструктуры транспорта (определение видов пассажирского транспорта и распределение сфер перевозок по видам транспорта, мощности производственно-технической базы транспорта, достаточной для нормативного уровня обслуживания населения и т.п.), необходимы данные о транспортных потребностях. Данную информацию лучше всего хранить в виде матрицы корреспонденций населения между транспортными районами (ТР) города. Такие матрицы содержат информацию о количестве передвижений за некоторый период времени. Наиболее надежна суточная матрица корреспонденций, в которой представлена суточная интенсивность потоков. Для этой матрицы должно выполняться следующее соотношение – сумма элементов матрицы корреспонденций равна числу

находящегося в городе населения  $NN$ , умноженному на среднесуточную подвижность  $p$ :

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_{ij} = p \cdot NN. \quad (1)$$

Суточная матрица корреспонденций не дает информации о колебаниях пассажиропотоков в течение суток. Для планирования инфраструктуры большое значение имеет наличие информации об интенсивности передвижений в городе в часы пик. Такую информацию может отражать матрица интенсивности корреспонденций за один час, наиболее характерный для рассматриваемого периода.

При текущем планировании транспортной системы необходимо иметь возможность анализировать варианты изменения отдельных маршрутов, определять распределение подвижного состава по маршрутам с учетом колебаний спроса в перевозках во времени. Очевидно, что степень детальности описания транспортных потребностей в задачах данного класса должна быть значительно выше [1]. На данной стадии планирования должна производиться привязка перспективного проекта транспортной системы к конкретным условиям, сложившимся в результате функционирования города.

Основным видом представления данных для решения задач модификации маршрутов ГПТ остается матрица корреспонденций. Однако она в данном случае отражает реальные пассажиропотоки, а детальность деления города на ТР должна быть такой,

чтобы фактически выполнялось соответствие: транспортный район – остановка маршрута.

Определение пассажиропотоков на маршрутах позволяет объективно рассчитать такие важнейшие показатели работы транспорта, как объем перевозок, доход, коэффициент использования вместимости подвижного состава и ряд других. Поэтому пассажиропотоки на маршрутах в крупных городах достаточно регулярно обследуют. Существуют также средства и методы автоматизированного измерения пассажиропотоков.

Матрицы потенциальных передвижений между ТР города получают путем обследования различных структур передвижения населения. Основными при этом принято считать трудовые передвижения. Формирование нетрудовой (культурно-бытовой, рекреационной и т.д.) составляющей матрицы корреспонденций – более сложная задача, чем получение трудовых корреспонденций.

Очевидна взаимосвязь матриц корреспонденций реальных пассажиропотоков на маршрутах с матрицей корреспонденций передвижений между районами города. Можно поставить и обратную задачу определения потенциальной матрицы по данным обследования пассажиропотоков.

Качественно новым этапом решения указанных проблем является создание экспертных систем служб движения городского пассажирского транспорта. Назначением таких систем является обеспечение процессов управления ГПТ действенным инструментарием для исследования уровня транспортного обслуживания. Информационное обеспечение таких систем должно быть ориентировано на систематический сбор информации о состоянии транспортной системы и протекающих в ней процессах. Это может быть реализовано в рамках информационно-вычислительной сети, обеспеченной контроллерами и вычислительной техникой на маршрутах ГПТ, в диспетчерских службах и на транспортных предприятиях.

Анализ функционирования маршрутов должен информационно обеспечиваться данными о паспортах маршрутов, наличии и функционировании транспортных единиц, регулярности движения, взаимосвязанном функционировании маршрутов.

В настоящее время наиболее точным методом измерения пассажиропотоков на маршрутах являются талонные обследования. При таком обследовании пассажиру при входе в транспортную единицу вручают специальный талон, в котором закодированы остановка маршрута и предварительно отмечена остановка посадки. При высадке пассажир сдает талон учетчику, который отмечает остановку высадки. Коды с талонов заносятся в базу данных, после чего производится сортировка и обработка полученной информации. Обработка результатов талонного обследования позволяет получить наиболее детальную информацию о пассажиропотоках на маршрутах в виде матриц корреспонденций  $X^k(t) = \|x_{\zeta\eta}^k(t)\|$ .

Достаточно распространены и другие виды обследований, например, таблично-опросное, табличное и визуальное. При таблично-опросном методе учетчики заполняют специальные таблицы, выясняя у пассажиров при входе в транспортную единицу маршрут следования. При табличном обследовании фиксируются количество входящих и выходящих пассажиров на остановках маршрута, а также текущее время. При визуальном обследовании приближенно фиксируется процент заполнения транспортных единиц на перегонах маршрута, что позволяет рассчитать пассажиропотоки на соответствующих перегонах.

Табличное обследование менее трудоемко по сравнению с талонным, однако оно дает менее детальные данные [1]. Таблично-опросный метод по точности получаемых результатов, а также по трудоемкости обработки соответствует талонному обследованию.

Обработка материалов табличного обследования пассажиропотока предполагает в качестве своей первой задачи определение почасовых интенсивностей посадки и высадки пассажиров для остановок маршрута. На вход данного элемента по каждому рейсу транспортной единицы поступает информация о количестве вошедших и вышедших пассажиров на каждой остановке и данные о времени совершения рейса. Далее рассчитывается загрузка перегонов маршрута. При этом определяются интенсивности пассажиропотока по каждому интервалу времени между парами соседних остановок. Затем рассчитываются сводные характеристики пассажиропотока на маршруте: объем перевозок на маршруте, средняя дальность поездки на маршруте, распределение объемов перевозок в течение суток, коэффициенты неравномерности пассажиропотоков по часам суток и направлениям и т.п.

В случае если имеются данные о вероятностном распределении дальности поездки на маршруте, можно рассчитать вероятности поездки между остановками маршрута  $p_{\zeta\eta}^k$ . Эти данные наряду с информацией об интенсивности входящих  $x_{1\zeta}^k$  и выходящих  $x_{2\zeta}^k$  пассажиров на остановках позволяют рассчитать матрицы корреспонденций:

$$X^k(t) = \|x_{\zeta\eta}^k(t)\|, \quad (2)$$

где  $x_{\zeta\eta}^k(t)$  – количество пассажиров, желающих за определенный период времени  $t$  проехать с остановки  $\zeta$  на остановку  $\eta$   $k$ -го маршрута. Основным источником исходных данных для определения интенсивностей передвижения жителей между транспортными районами города до недавнего времени являлись материалы обследований подвижности населения, расселения трудящихся относительно мест приложения труда, по наличию и использованию культурно-бытовых предприятий и т.д. Такие обследования проводили специализированные организации. Эти организации, как правило, являлись ответственными за

проектирование транспортной инфраструктуры города. В настоящее время большинства таких организаций не существует, нет и средств на проведение подобных обследований.

Тем не менее, значение информации о подвижности населения по мере развития городов постоянно возрастает. Обычно под определением и анализом подвижности населения понимают установление параметров, характеризующих передвижение жителей за выбранный период времени, с детализацией: по целям передвижения, затратам времени, направлениям, социально-возрастному составу и образовательному уровню жителей, районам города. Важнейшими из этих параметров являются величины подвижности населения, коэффициента пользования транспортом, структуры передвижений по циклам, зависимости количества передвижений от затрат времени и т.п.

В различных условиях, главным образом в зависимости от труппы населенности города и объема имеющихся данных, для прогнозирования пассажироперевозок в настоящее время используют три труппы математических моделей: детерминированные, рассматривающие передвижения в виде однозначной функции определяющих факторов (гравитационная, электростатической аналогии и др.); вероятностные, рассматривающие передвижения в виде стохастических (случайных) величин, подчиняющихся статистическим закономерностям (модели множественной корреляции, имитационные и др.), и эвристические, определяющие динамику роста объемов передвижений на основе эвристического прогнозирования (методы динамических рядов, коэффициентов роста). Имеется также ряд комбинированных моделей, характеризующихся признаками детерминированных и эвристических, вероятностных и эвристических и т. д.

В зависимости от методики получения исходных данных и применения выводов модели прогнозирования пассажироперевозок делят на два класса: аналоговые (экстраполяционные) и синтетические (имитационные). Аналоговые модели не вскрывают причинной сущности образования пассажирских связей в городе, но исходят из предположения, что перспективная картина движения в нем будет аналогична существующей, но размеры движения изменятся в соответствии с некоторыми «факторами роста», «коэффициентами роста», величину которых устанавливают экстраполяцией на расчетный период данных натурных обследований. Синтетические методы не требуют анализа существующего состояния пассажироперевозок, их применяют при проектировании транспортных систем новых городов. Особенность этих методов состоит в том, что они моделируют сам процесс формирования пассажирских связей в заданных планировочных и транспортных условиях.

В основе всех современных имитационных (синтетических) моделей прогнозирования пассажироперевозок лежит расчет корреспонденций между отдельными зонами  $i$  и  $j$  города – транспортными районами. В широко применяемой

гравитационной модели количество корреспонденций между зонами  $i$  и  $j$  (из  $i$  в  $j$ )

$$\lambda_{ij} = \frac{k h_i^\alpha h_j^\beta}{R_{ij}^\gamma}, \quad (3)$$

где  $k$  – масштабный коэффициент;

$h_i$  и  $h_j$  – емкости взаимодействующих транспортных районов (их общая населенность или количество населения соответствующих социальных групп – рабочих и служащих, учащихся, несамодостаточного населения);  $R_{ij}$  – «функция сопротивления» транспортной связи районов  $i$  и  $j$  (расстояние, трудность сообщения, стоимость проезда либо комбинация этих показателей). Обычно под функцией сопротивления понимают трудность сообщения между транспортными районами);  $\alpha, \beta, \gamma$  – эмпирические коэффициенты, устанавливаемые на основе натурных транспортных обследований.

В вероятностных моделях корреспонденции между транспортными районами  $i$  и  $j$

$$\lambda_{ij} = h_i h_j P_{ij}, \quad (4)$$

где  $h_i$  и  $h_j$  – емкости взаимодействующих транспортных районов по отправлениям и прибытиям;

$P_{ij}$  – вероятность того, что передвижение закончится в зоне  $j$ , т. е. количественная оценка «притягательности» зоны  $j$  для поездок, зарождающихся в районе  $i$ . Различные вероятностные модели отличаются методикой определения  $P_{ij}$ .

Одним из основных параметров, определяющих объем передвижений расселения между пунктами транспортного тяготения, являются затраты транспортного времени – трудность сообщения. Вместе с тем она может быть определена только при заданной ТС, известной маршрутной системе и различна при использовании разных видов транспорта. В конечном счете транспортная система будет влиять на размещение населения по территории города. Следовательно, вариант размещения населения и транспортной системы, удовлетворяющий тому уровню их динамического равновесия, который будет характерен для рассматриваемого расчетного периода, можно получить только методом последовательных приближений.

Таким образом, принципиальная ограниченность современных математических моделей прогнозирования пассажироперевозок состоит в том, что ни одна из них не обеспечивает однозначного выбора оптимальной транспортной системы и все они потенциально опираются на существующие виды транспорта. В настоящее время ведутся непрерывные поиски в этом направлении, разрабатываются новые варианты вероятностных и динамических моделей, накапливается статистический материал о причинно-следственных связях пассажироперевозок с определяющими их факторами.

Для хранения данных о транспортной потребности предлагается использовать матрицы корреспонденций

населения между транспортными районами города. Очевидна взаимосвязь матриц корреспонденций реальных пассажиропотоков на маршрутах с матрицей корреспонденций передвижений между районами города. Для проведения обследования пассажиропотоков рекомендуется использовать талонный метод как один из наиболее точных.

Применение современных информационных технологий обработки данных для формирования матрицы корреспонденций и обработки результатов обследования позволит оперативно и точно определять транспортные потребности населения и прогнозировать развитие транспортной системы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яворский В.В., Сулейменова Л.К. Методика получения данных о транспортной потребности населения города // Вопросы планировки и застройки городов. Пенза, 1989. С. 10-12.

УДК 621.3:004  
ЛИСИЦЫН Д.В.

### Компьютерное моделирование многодвигательного электропривода механизма поворота одноковшовых экскаваторов с уточненной механической частью

Производительность одноковшового экскаватора в значительной степени определяется временем поворотных движений, которое составляет до 75% времени цикла [1]. Механизм поворота вместе с поворотной платформой и рабочим оборудованием обладают большим моментом инерции, и в течение основного времени поворотных движений имеет место переходный процесс. Время цикла экскавации может быть уменьшено за счет сокращения длительности переходных процессов.

В начале разгона и торможения поворотной платформы в редукторе механизма поворота возникают ударные динамические нагрузки вследствие наличия зазоров в кинематических парах редуктора. При выборе люфтов возникают ударные броски упругого момента, многократно превышающие статические значения. Все это приводит к тому, что на механическую часть приходится до 65% отказов от их общего количества [1]. Повышение производительности и увеличение эксплуатационной надежности является актуальной научно-технической задачей. Для улучшения режимов работ многодвигательного механизма поворота изначально необходимо провести детальные исследования электромеханических процессов в механизме поворота, выявить главные причины, ведущие к преждевременному износу оборудования, и определить основные направления по модернизации электропривода.

Типовая кинематическая схема двухдвигательного электропривода механизма поворота представлена на рисунке 1.

Движение от электродвигателей 1 через редукторы 2, установленные на платформе, передается на поворотный вал 3 с ведущими шестернями, обегаящими вокруг неподвижного венца 4, закрепленного на ходовой раме. Стопорный тормоз 5 располагается на верхнем конце вала двигателя.

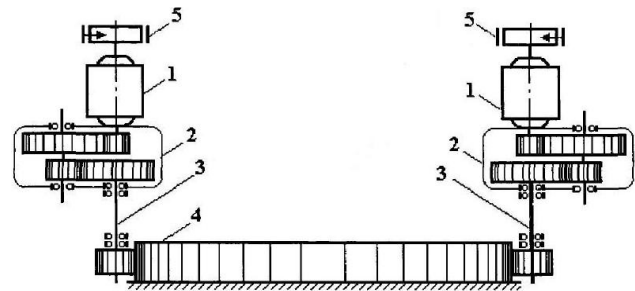


Рисунок 1 – Кинематическая схема механизма поворота экскаватора

В соответствии с представленной кинематической схемой электромеханическую систему механизма поворота экскаватора следует рассматривать как трехмассовую систему с переменной третьей массой [2].

На рисунке 2 приведена структурная схема уточненной математической модели механической части механизма поворота экскаватора.

На схеме приняты следующие обозначения:  $M_{\partial 1}$ ,  $M_{\partial 2}$ ,  $M_{пл}$  – электромагнитные моменты соответствующих двигателей и момент, приложенный к поворотной платформе;  $M_{св\Sigma}$  – момент сопротивления движению поворотной платформы;  $M_{13}$ ,  $M_{23}$  – упругие моменты с учетом внутреннего вязкого трения;  $J_1$ ,  $J_2$  – моменты инерции массивных элементов первого и второго электроприводов механизма;  $J_{пл}$ ,  $J_{(к+с)}$  – приведенные моменты инерции поворотной платформы с установленным на ней оборудованием и ковша с породой;  $C_{13}$ ,  $C_{23}$  – эквивалентные коэффициенты жесткости упругих элементов;  $b_{13}$ ,  $b_{23}$  – эквивалентные коэффициенты вязкого трения упругих звеньев;  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$  – скорости вращения двигателей и частота вращения поворотной платформы;  $HЭ1$ ,  $HЭ2$  – нелинейный элемент, моделирующий эквивалентный зазор в зубчатых передачах;  $\varphi_1'$ ,  $\varphi_2'$  – угол поворота вала соответствующего двигателя;  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  – приведенный угол поворота тихоходного вала редуктора;  $\Delta\varphi_3$  – приведенный зазор в редукторе.

Считается, что при наличии зазоров в кинематической схеме движение третьей массы может



начаться лишь только тогда, когда выбрана половина зазора  $\Delta\varphi_3/2$  в одну или другую сторону [3].

Система уравнений, описывающих трехмассовую механическую часть механизма поворота экскаватора, имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} J_1(d\omega_1/dt) &= \dot{I}_{a1} - \dot{I}_{13}; \\ J_2(d\omega_2/dt) &= \dot{I}_{a2} - \dot{I}_{23}; \\ J_3(d\omega_3/dt) &= \dot{I}_{13} + \dot{I}_{23} + \dot{I}_{\text{нвз}}; \\ \dot{I}_{13} &= \tilde{N}_{13} \int (\omega_1 - \omega_3) dt + b_{13}(\omega_1 - \omega_3) \text{ и } \ddot{\delta} \text{ } \left| \varphi'_1 - \varphi_3 \right| \geq \Delta\varphi_3/2; \\ \dot{I}_{13} &= 0 \text{ и } \ddot{\delta} \text{ } \left| \varphi'_1 - \varphi_3 \right| \geq \Delta\varphi_3/2; \\ \dot{I}_{23} &= \tilde{N}_{23} \int (\omega_1 - \omega_3) dt + b_{23}(\omega_2 - \omega_3) \text{ и } \ddot{\delta} \text{ } \left| \varphi'_2 - \varphi_3 \right| \geq \Delta\varphi_3/2; \\ \dot{I}_{23} &= 0 \text{ и } \ddot{\delta} \text{ } \left| \varphi'_2 - \varphi_3 \right| \geq \Delta\varphi_3/2. \end{aligned} \right\} (1)$$

Математическое описание генератора постоянного тока выполнено, исходя из предположения, что угловая скорость вращения генератора  $\omega_2$  во всех режимах остается постоянной, насыщение стали генератора отсутствует, а магнитный поток генератора  $\Phi_2$  зависит от тока возбуждения генератора  $I_{e2}$  линейно. С учетом этих допущений генератор может быть описан следующим уравнением:

$$\dot{O}_{a2} \frac{dE_a}{dt} + E_a = \hat{E}_a \cdot U_a, \quad (2)$$

где  $E_a$  – ЭДС генератора;  
 $T_{a2}$  – постоянная времени цепи возбуждения генератора;

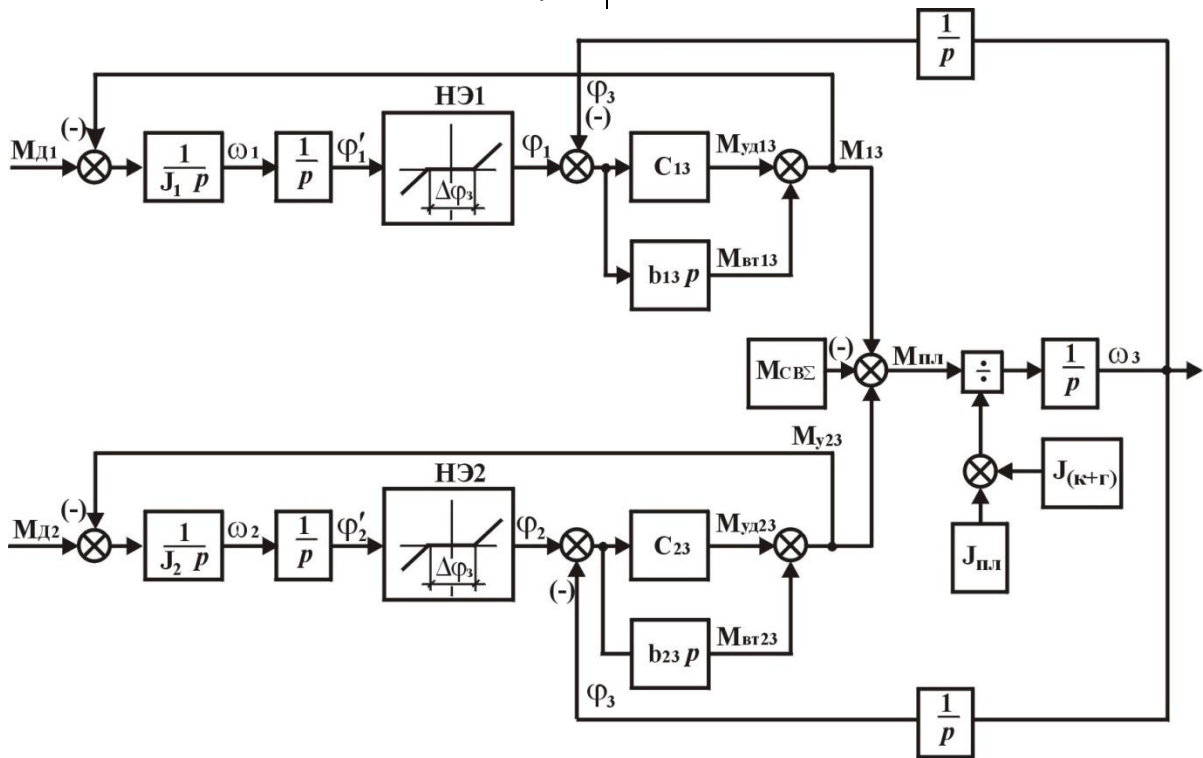


Рисунок 2 – Структурная схема математической модели механической части

$L_{e2}$  – индуктивность цепи возбуждения генератора;  
 $R_{e2}$  – активное сопротивление цепи возбуждения генератора;  
 $K_e$  – коэффициент передачи генератора;  
 $U_e$  – выходное напряжение возбудителя генератора.

Математическое описание двигателей постоянного тока выполнено, исходя из предположений, что параметры якорных цепей двигателей во всех режимах остаются неизменными, а насыщение стали двигателей отсутствует.

С учетом этих допущений электромагнитные процессы в якорной цепи описываются следующими уравнениями:

$$\dot{O}_y \frac{dI_y}{dt} + I_y = \frac{(E_a - E_d)}{R_y}, \quad (3)$$

$$\dot{I}_a = (\tilde{N}_i \hat{O}_a) I_y, \quad (4)$$

где  $I_y$  – ток якорной цепи системы Г-Д;  
 $T_y$  – постоянная времени якорной цепи;

$R_y$  – активное сопротивление якорной цепи;  
 $E_d$  – ЭДС двигателя;  
 $M_d$  – электромагнитный момент двигателя;  
 $C_m$  – машинная постоянная двигателя.

Математическое описание возбудителей генератора и двигателей постоянного тока выполнено, исходя из предположений, что присутствующее в схемах возбудителей запаздывание мало, потому они могут быть описаны не звеном с запаздыванием вида  $W = e^{-tp}$ , а аperiодическим звеном первого порядка с эквивалентной постоянной времени  $T_{a6}$ .

С учетом этих допущений электромагнитные процессы в возбудителях генераторов и двигателей механизма могут быть описаны уравнением:

$$\dot{O}_{y1} \frac{dU_a}{dt} + U_a = \hat{E}_a \cdot U_{\delta}, \quad (5)$$

где  $K_e$  – коэффициент передачи возбудителя;  
 $U_y$  – напряжение управления.

Структурная схема силовой части электропривода механизма поворота с учетом сделанных допущений и приведенного математического описания представлена на рисунке 3.

При моделировании в качестве возбудителя генератора была принята система с магнитным усилителем, как наиболее распространенная, с системой регулирования, содержащей жесткую обратную связь по напряжению генератора и жесткую обратную связь по току якорной цепи с отсечкой. Структурная схема регулятора приведена на рисунке 4.

По структурным схемам в среде пакета прикладных программ Matlab приложение Simulink разработана имитационная модель двухдвигательного электропривода механизма поворота экскаватора. Приложение Simulink позволяет быстро проектировать, моделировать и тестировать системы электропривода,

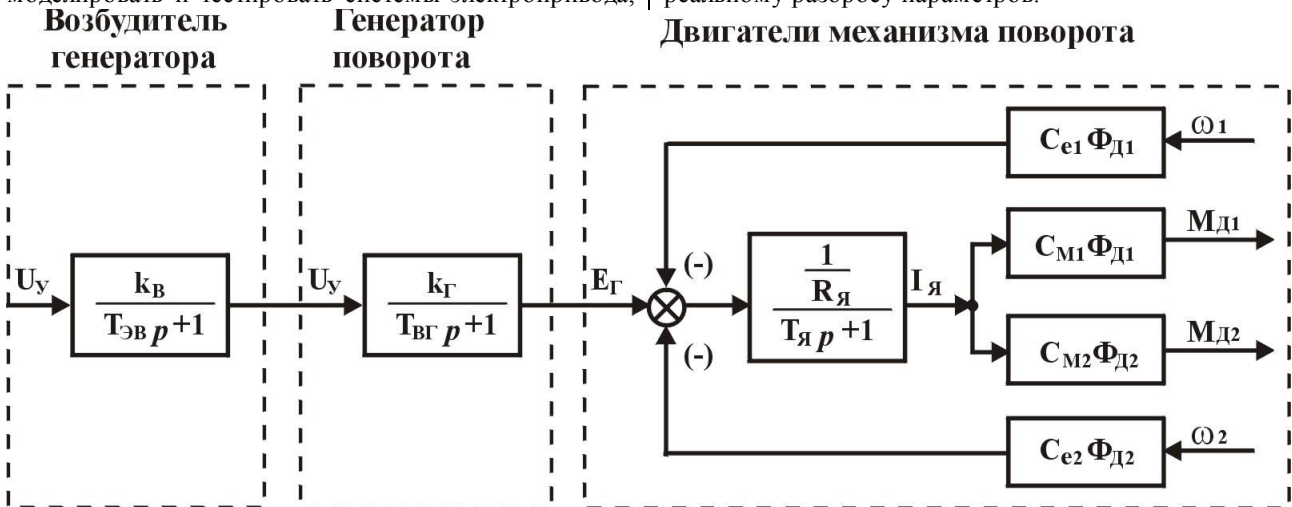


Рисунок 3 – Структурная схема силовой части электропривода

Серия проведенных экспериментов показала, что наличие кинематических зазоров в редукторе механизма поворота является основной причиной возникновения высоких динамических нагрузок в механической части привода. В период выбора зазоров двигатели не связаны с механизмом, и так как их момент инерции значительно меньше, чем суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции поворотной платформы, возникают большие ускорения. Процесс выбора зазоров оканчивается динамическим ударом, действующим в течение чрезвычайно малого промежутка времени. После замыкания зазора кинематическая энергия маховых масс редуктора переходит в потенциальную энергию упругих звеньев, вызывая в них динамические деформации, в несколько раз превышающие деформации, которые имели бы место при статическом действии момента двигателя.

На рисунке 5 представлены результаты имитационного эксперимента при попытке полностью идентичными двигателями. Здесь рассмотрен процесс разгона, равномерного движения и остановки поворотной платформы. Переходной процесс упругого момента  $M_{13}$  в этом случае носит аperiодический быстро затухающий характер. При

используя интерактивно-визуальное моделирование [4].

Числовые параметры математических моделей электропривода поворота были выбраны применительно к экскаватору ЭКГ-10, исходя из технического описания [5].

При моделировании учитывалось и то обстоятельство, что при одинаковых номинальных данных двигателей в многодвигательном электроприводе их механические характеристики могут отличаться вследствие различия магнитных потоков [6].

В связи с этим, исследования производились на имитационной модели электропривода, содержащего абсолютно идентичные электродвигатели, и на модели с разницей основных магнитных потоков электродвигателей в пределах 10%, что соответствует реальному разбросу параметров.

**Двигатели механизма поворота**

пусках в момент замыкания зазора амплитуда упругого момента достигает почти трехкратного значения от номинального момента.

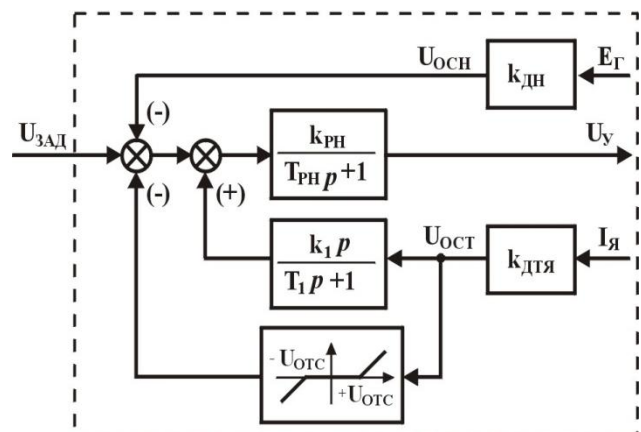


Рисунок 4 – Структурная схема регулятора экскаваторного электропривода

На рисунке 6 представлены результаты имитационных экспериментов при разбросе величин основных магнитных потоков двигателей в 10 %.

Разница в магнитных потоках вызывает различие в механических характеристиках, что в свою очередь

приводит к дополнительному возникновению разности скоростей  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  в переходных процессах. Это и является основной причиной периодического замыкания и размыкания зазоров.

Кроме перегрузок, имеющих место при первоначальном замыкании зазора, в установившихся режимах наблюдаются слабозатухающие колебания упругого момента с частотой 4-5 Гц (рисунок 6 а). Между упругими моментами существует фазовый сдвиг, а разность амплитуд составляет почти 100% от номинального значения момента (рисунок 6 б).

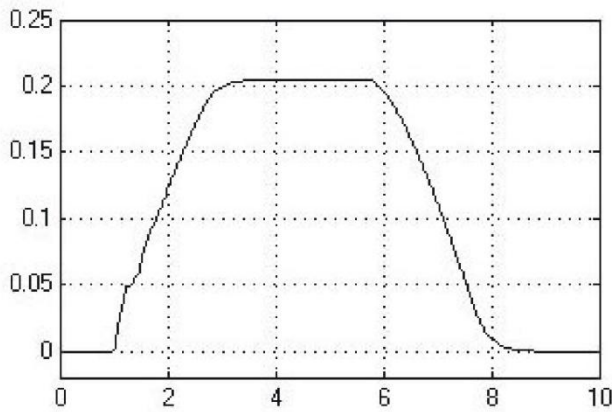
Наличие периодических колебаний упругого момента существенно снижает усталостную долговечность редукторов механизма поворота, вызывая тем самым преждевременный выход из строя редукторов. Именно этим фактором можно объяснить частые отказы, возникающие в редукторах механизма поворота одноковшовых экскаваторов.

Для устранения разброса параметров электродвигателей технологическими методами при изготовлении и ремонте необходимо внедрение новых  $W_{пл}, \text{ рад/с}$

технологий, применение материалов и комплектующих с идентичными магнитными характеристиками и создание специализированных средств контроля, что требует значительных материальных затрат.

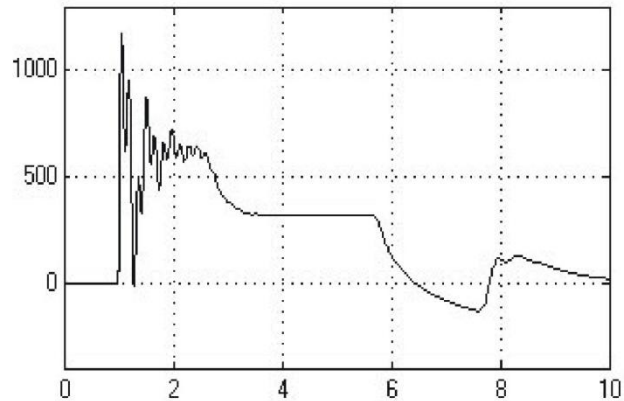
Поэтому для улучшения работы многодвигательного электропривода одноковшовых экскаваторов целесообразно усовершенствовать систему управления, а именно, разделить цепи возбуждения электродвигателей и запитывать их от отдельных управляемых преобразователей. Систему управления при этом необходимо дополнить подсистемой выравнивания магнитных потоков, воздействующую на цепи возбуждения электродвигателей.

Разработанная имитационная модель может быть полезна при разработке и синтезе усовершенствованной системы управления многодвигательными экскаваторными электроприводами.



а)

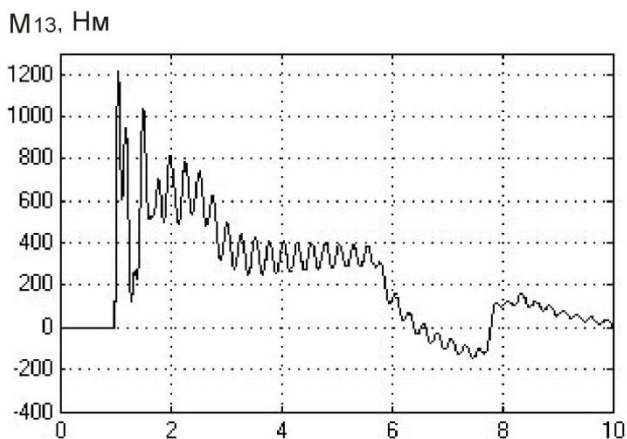
М<sub>13</sub>, Нм



б)

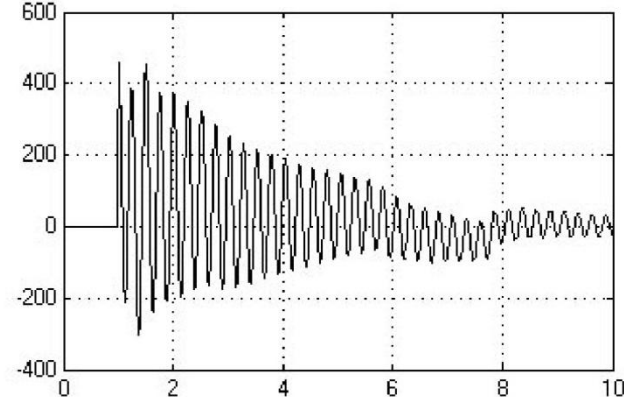
а – угловая скорость платформы, б – упругий момент М<sub>13</sub>

Рисунок 5 – Эксперименты с идентичными параметрами двигателей



а)

М<sub>13</sub> - М<sub>23</sub>, Нм



б)

а – упругий момент М<sub>13</sub>, б – разность упругих моментов М<sub>13</sub> и М<sub>23</sub>

Рисунок 6 – Эксперименты с неидентичными параметрами двигателей

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ключев В.И., Миронов Л.М., Резников А.М., Фомин А. Разработки и исследования экскаваторных электроприводов // Электротехника. 2000. №2. С. 20-25.
2. Носырев М.Б., Карякин А.Л. Расчет и моделирование САУ главных электроприводов одноковшовых экскаваторов: Учеб. пособие. Свердловск: Изд-во СГИ им. В.В.Вахрушева, 1987. 88 с.
3. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербург. отд-ние, 1992. 288 с.
4. Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений/ Под общ. ред. В.Г.Потемкина. М.: Диалог МИФИ, 2003.496 с.
5. Устройство комплектное низковольтное управления электроприводами с тиристорным возбуждением для карьерного экскаватора ЭКГ-10: Инструкция по наладке и эксплуатации главных электроприводов экскаватора ЭКГ-10. М., 1989. 258с.
6. Брейдо И.В., Лисицын Д.В. Имитационное моделирование многодвигательного электропривода подъема экскаватора ЭКГ-8 // Труды университета. Вып. 3; Карагандинский государственный технический университет. Караганда, 1998. С. 302-304.

УДК 622.232.72.001.24-52

ПАРШИНА Г.И.

### Алгоритмы и принципы построения автоматизированной системы поддержки работоспособности электротехнических комплексов очистных участков угольных шахт

Опыт создания автоматизированных систем показывает, что эффективное управление энергетическим хозяйством обеспечивается с помощью внедрения в производство систем автоматизированного диспетчерского управления (АСДУ). При существующих условиях построения структуры шахты наиболее рациональной является двухступенчатая АСДУ. В этом случае отдельные энергетические системы предприятия имеют самостоятельные пункты управления, ведающие работой сооружений и сетей только данной энергетической системы, а центральный диспетчерский пункт (ЦДП) отдела главного энергетика (ОГЭ), осуществляет руководство энергетическим хозяйством предприятия в целом, координирует работу отдельных диспетчерских служб и связывается с внешними производителями и потребителями энергии.

Программные комплексы, автоматизирующие работы, проводимые в отделах главного энергетика шахты, выполняют функции, связанные с решением следующих основных задач [1-5]:

- оперативно-техническое управление службами и системами, подчиненными главному энергетик (С и СГЭ);
- организационно-экономическое управление С и СГЭ;
- ремонтно-технологическое управление системами, подчиненными ГЭ.

В состав программного обеспечения ОГЭ входит автоматизированная система расчета электроснабжения (АС РЭС) добычных участков

шахты, которая может функционировать и как самостоятельная автономная система. Задачи, решаемые АС РЭС, следующие:

- хранение и обработка данных для расчета схем электроснабжения в соответствии с требованиями ПБ;
- хранение и обработка данных для формирования структуры схем электроснабжения технологических объектов, корректировки изменений в схемах с последующим их расчетом и документированием;
- хранение и вызов справочной информации об аппаратах, о кабельных изделиях, устройствах защиты и управления, имеющихся на складах шахты;
- хранение и выдача по требованию регламентированной ПБ справочной информации, определяющей допустимую структуру и технические характеристики схем электроснабжения;
- хранение в памяти ЭВМ расчетов и графических изображений схем электроснабжения шахты;
- хранение и обработка данных для формирования твердых копий схем электроснабжения.

Расчет имеет линейную структуру, с возможностью возврата в любую точку. На рисунке 1 приведен общий алгоритм расчета электроснабжения добычного участка угольной шахты, без детализации по отдельным процедурам расчета. Алгоритм соответствует ГОСТ 15150 и позволяет:

- осуществлять расчет электроснабжения новых участков;
- создавать множество новых вариантов расчета электроснабжения участка;
- автоматизировать процесс расстановки потребителей по участкам;

- проводить проверочные расчеты электроснабжения действующих добычных участков;
- создавать множество новых вариантов схем электроснабжения для существующих добычных участков;

- корректировать результаты расчетов;
- просматривать результаты расчетов.

В соответствии с данным алгоритмом в начале расчета сотрудник отдела главного энергетика выбирает/создает участок для расчета, просмотра или корректировки.

После того как участок выбран/создан, формируется список электропотребителей в соответствии с технологической схемой расстановки оборудования для добычного участка угольной шахты. Список электропотребителей формируется на основании базы данных (БД), спроектированных в СУБД Access.

После расстановки электропотребителей, в соответствии с разработанным алгоритмом, рассчитывается мощность трансформаторной подстанции и производится расстановка потребителей по трансформаторным подстанциям. При этом учитываются мощность и напряжение электропотребителей и формируется несколько списков электропотребителей для каждой трансформаторной подстанции. Далее производится расчет, выбор и проверка кабельной сети участка. Следующими шагами являются выбор и проверка аппаратуры управления и защиты, расчет и выбор автоматических выключателей, пускателей и уставок. После этого рассчитывается осветительная сеть.

Алгоритм расчета/корректировки электроснабжения добычного участка имеет сложную структуру, состоящую из циклических и разветвленных участков (рисунок 2).

На основе данного алгоритма разработана автоматизированная система в среде программирования C Builder. АС РЭС функционирует в следующих режимах:

- информационном, при котором средства вычислительной техники осуществляют хранение и представление информации по запросу;

- в оперативно-расчетном, при котором средства вычислительной техники в диалоговом режиме выполняют задачи автоматизированного расчета с сохранением входных, выходных и промежуточных результатов.

Расчет электроснабжения начинается с формы выбора участка, на которой сотрудник отдела главного энергетика может:

- создавать участок и дату для расчета электроснабжения;
- создавать новые (по дате) расчеты для существующих участков с учетом изменения схемы расстановки технологического и/или электрического оборудования;
- корректировать результаты предыдущих расчетов для выбранного участка и варианта расчета;
- просматривать результаты расчетов;

- удалять расчет схемы электроснабжения с фиксированной датой;

- удалять информацию о технологическом участке с фиксированной датой.

После выбора участка и даты расчета происходит выбор электропотребителей участка из существующей базы данных, здесь же можно произвести, если это необходимо, замену электродвигателя электропотребителя участка, а также просмотреть характеристики электропотребителей и установленных электродвигателей.

На следующем шаге по сформированной нагрузке рассчитывается нагрузка на трансформаторную подстанцию.

Если в результате расчета выбрано 2 и более трансформаторных подстанций, то происходит расстановка электропотребителей по трансформаторным подстанциям с учетом мощности и напряжения. После расстановки электропотребителей проверяется нагрузка на трансформаторную подстанцию.

Затем, согласно технологической схеме расстановки оборудования, вводятся длины кабелей, и согласно алгоритму производится расчет и проверка кабельной сети. В случае необходимости сотрудник отдела главного энергетика может провести замену кабеля из БД, с последующей проверкой критериев его работоспособности.

На следующем шаге производится выбор аппаратуры управления и защиты. В случае необходимости в системе предусмотрена возможность замены пускателей, автоматических выключателей, уставок из справочников базы данных с последующей проверкой критериев их эксплуатации в схеме электроснабжения добычного участка.

Итоговая форма позволяет просмотреть весь список электропотребителей, выбранные понизительные подстанции, кабельную сеть, аппаратуру управления и защиты на одной общей форме.

Помимо вывода на экран по результатам расчета формируется выходной документ с основными расчетными таблицами и схемой электроснабжения участка.

Следует отметить, что существует достаточно большая вероятность принятия к технической реализации неверных расчетов схем электроснабжения добычных участков. Применение автоматизированной системы расчета электроснабжения позволяет снизить вероятность общего риска до доли физических лиц.

Таким образом, АС РЭС способствует:

- снижению трудоемкости делопроизводства в ОГЭ;
- повышению оперативности и снижению трудоемкости при проведении расчетов схем электроснабжения и энергоснабжения шахты;
- повышению качества расчета электроснабжения добычных участков угольных шахт за счет автоматизации основных процедур и, как следствие, снижению ошибок при проведении расчета.

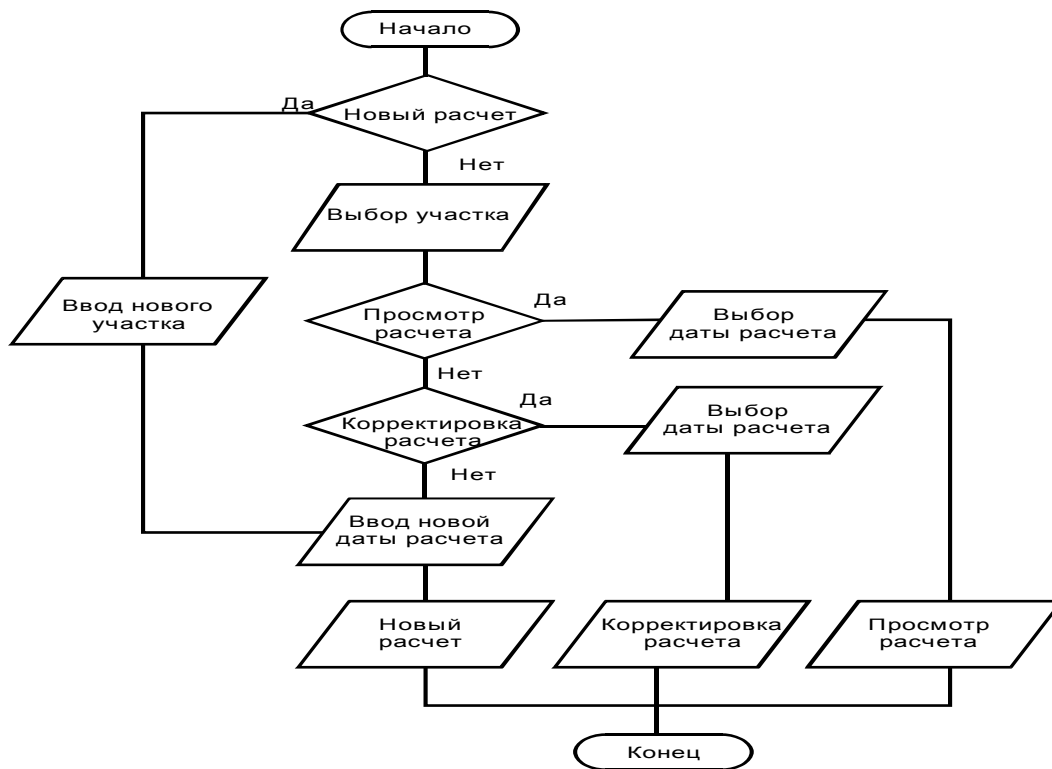


Рисунок 1 – Алгоритм автоматизированного расчета электроснабжения участка угольной шахты

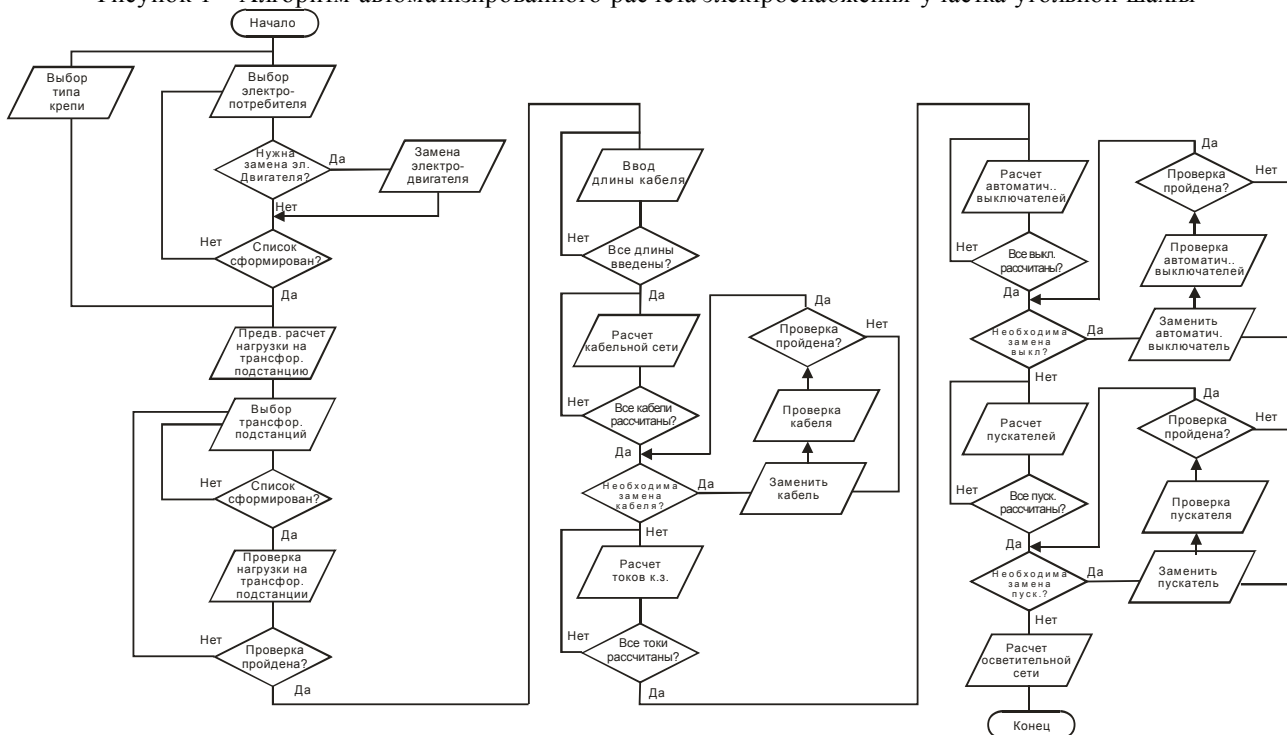


Рисунок 2 – Алгоритм расчета корректировки электроснабжения добычного участка

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по электроустановкам угольных предприятий. Электроустановки угольных шахт: Справочник / В.Ф. Антонов, Ш.Ш. Ахмедов, С.А. Волотковский и др. М.: Недра, 1988. 727 с.
2. Электрооборудование и электроснабжение участка шахты: Справочник / Р.Г. Беккер и др. М.: Недра, 1983. 503 с.
3. Дзюбан В.С., Риман Я.С., Маслий А.К. Справочник энергетика угольной шахты. М.: Недра, 1983. 542 с.
4. Овсянников Ю.А., Кораблев А.А., Топорков А.А. Автоматизация подземного оборудования: Справочник рабочего. М.: Недра, 1990. 287 с.
5. Риман Я.С., Соловей А.И. Устройства и эксплуатация электрооборудования стационарных установок шахт: Справочник рабочего. М.: Недра, 1991. 284 с.



УДК 621.316.9

БРЕЙДО И.В.,  
СМАГУЛОВА К.К.,  
ИСКАКОВ У.К.

## Методы адаптации параметров аппарата защиты от токов утечки в условиях колебания напряжения

Для обеспечения безопасности эксплуатации электрических сетей с изолированной нейтралью и электрооборудования в горнодобывающей промышленности широко применяются аппараты защиты от токов утечки. Ответственность решаемых с помощью аппаратов защиты от токов утечки задач делает необходимым предъявление особенно жестких требований к надежности и устойчивости работы этих аппаратов, к стабильности их характеристик и точности измерения контролируемых параметров изоляции сети.

Вследствие сложности физических явлений, связанных с токами утечки, известные на данный момент методы защиты, разработанные для аппаратов защиты от токов утечки, не в полной мере отвечают предъявляемым требованиям. В существующих аппаратах не осуществляется автоматической подстройки уставки срабатывания, что приводит к увеличению максимально допустимого длительного тока при двухфазном замыкании и при колебаниях напряжения контролируемой сети. В подземных сетях электроснабжения в процессе эксплуатации периодически изменяется протяженность защищаемых линий. Неконтролируемые изменения параметров защищаемых сетей приводят к снижению эффективности средств защиты. В сущности, аппарат защиты должен обладать адаптивными свойствами к изменяющимся характеристикам сети [1].

Разработка адаптивной системы защиты от токов утечки предлагается осуществить методами нечеткой логики. В области управления техническими системами методы нечеткой логики позволяют получать более эффективные результаты по сравнению с результатами, которые основываются на использовании традиционных аналитических моделей и алгоритмов управления.

Для получения представления о процессах, протекающих в сети с изолированной нейтралью, а также получения данных, необходимых для формирования критериев алгоритма управления, разработана модель сети в среде Matlab 7.01.

В качестве реагирующего элемента аппарата защиты от токов утечки, используется схема 3V. Схема 3V представляет собой систему вентилях, выпрямляющих оперативный ток в цепи изоляции сети. Из полученных в ходе экспериментов осциллограмм определены основные особенности процессов, происходящих на выходе схемы 3V, при однофазном и двухфазном замыкании.

Для формирования входных переменных алгоритма произведен предварительный анализ данных методом нечеткой логики. В результате предложена переменная «сигнал напряжения», являющаяся продуктом нечеткого вывода. Данная

переменная отображает наличие и количество фаз утечки.

В соответствии с порядком процедур нечеткого вывода алгоритмом Мамдани [2], составлена база правил, являющаяся основой алгоритма управления.

Для формирования базы правил систем нечеткого вывода необходимо предварительно определить входные и выходные лингвистические переменные.

Очевидно, что в качестве одной из входных лингвистических переменных следует использовать амплитуду напряжения на выходе схемы 3V:  $\beta_1$  – «амплитуда напряжения», а в качестве второй входной лингвистической переменной  $\beta_2$  – «сигнал напряжения».

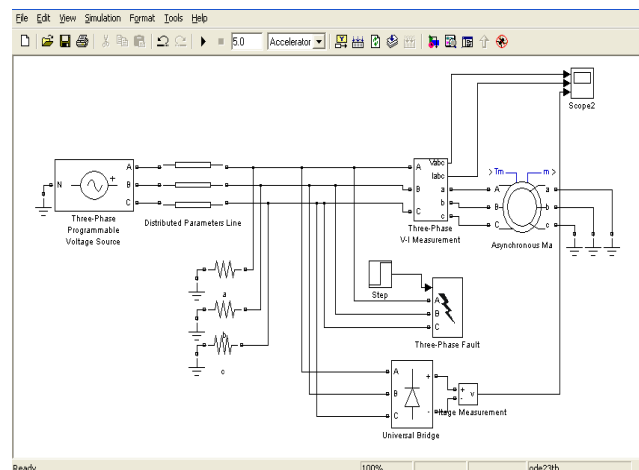


Рисунок 1 – Модель сети с изолированной нейтралью

В качестве выходной лингвистической переменной будем использовать уставку срабатывания аппарата:  $\gamma$  – «уставка срабатывания».

В этом случае система нечеткого вывода будет содержать 15 правил нечетких продукций следующего вида:

- Правило\_1: Если  $\beta_1$  есть PB и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть PB,
- Правило\_2: Если  $\beta_1$  есть PB и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть PB,
- Правило\_3: Если  $\beta_1$  есть PB и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB,
- Правило\_4: Если  $\beta_1$  есть PS и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть PS,
- Правило\_5: Если  $\beta_1$  есть PS и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть PS,
- Правило\_6: Если  $\beta_1$  есть PS и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB,
- Правило\_7: Если  $\beta_1$  есть ZE и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть ZE,
- Правило\_8: Если  $\beta_1$  есть ZE и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть ZE,
- Правило\_9: Если  $\beta_1$  есть ZE и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB,
- Правило\_10: Если  $\beta_1$  есть NS и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть NS,
- Правило\_11: Если  $\beta_1$  есть NS и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть NS,
- Правило\_12: Если  $\beta_1$  есть NS и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB,
- Правило\_13: Если  $\beta_1$  есть NB и  $\beta_2$  есть NS, то  $\gamma$  есть NB,
- Правило\_14: Если  $\beta_1$  есть NB и  $\beta_2$  есть ZE, то  $\gamma$  есть NB,

Правило\_15: Если  $\beta_1$  есть NB и  $\beta_2$  есть PS, то  $\gamma$  есть PB, где NB (negative big) – отрицательно большое значение; NS (negative small) – отрицательно малое значение; ZE (approximately zero) – близкое к нулю; PS (positive small) – положительно малое значение; PB (Positive Big) – положительно большое значение.

Следующим шагом моделирования является фазификация входных переменных, представляющая процедуру получения четкого значения.

В качестве терм множества первой входной переменной будем использовать терм множество  $T_1 = \{NS, ZE, PS\}$  с функцией принадлежности, показанной на рисунке 2. В качестве терм множества второй входной переменной будем использовать терм множество  $T_2 = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$  с функцией принадлежности, показанной на рисунке 3. В качестве терм множества выходной переменной будем использовать терм множество  $T_3 = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$  с функцией принадлежности, показанной на рисунке 4.

Используя в качестве алгоритма вывода алгоритм Мамдани, рассмотрим пример его выполнения для случая, когда текущая амплитуда напряжения на выходе схемы 3V равна 400В, а сигнал напряжения равен 0. В этом случае фазификация первой входной переменной приводит к значению истинности 0,52 для термина NS, а фазификация второй входной переменной приводит к значению истинности 1 для термина ZE. Соответствующие подусловия используются в правиле нечеткой продукции с номером 11. Это правило считается активным и используется в текущем процессе нечеткого вывода.

Агрегирование с использованием операции нечеткой конъюнкции (1) подусловий 11 дает в результате число 0,52. Следующим этапом нечеткого вывода является заключение в нечетких правилах. Поскольку все заключения правил 1-15 заданы в форме нечетких лингвистических высказываний первого вида, а весовые коэффициенты правил по умолчанию равны 1, то активизация правила 11 приводит к одному нечеткому множеству:

$$T_3(T_1 \cap T_2) = \min\{T_1(\beta_2), T_2(\beta_2)\}. \quad (1)$$

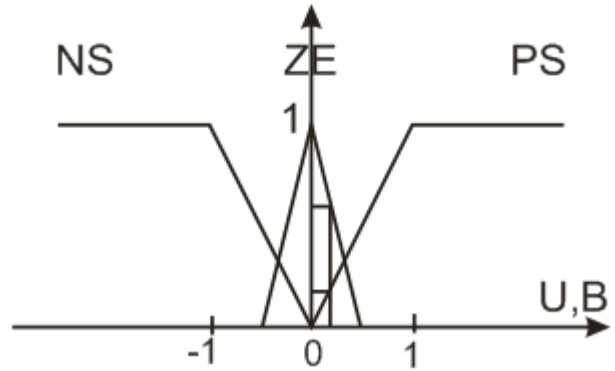


Рисунок 2 – Функция принадлежности «сигнал напряжения»

Аккумуляция заключений нечетких правил с использованием операции дизъюнкции по максимальному значению для правила 11 в результате приводит к нечеткому множеству, функция принадлежности которого изображена на рисунке 5.

Дефазификация выходной лингвистической переменной методом центра площади для значений функции принадлежности, изображенной на рисунке 5, приводит к значению управляющей переменной, равной уставке срабатывания аппарата 8,5 Ком (приближенное значение). Эта величина является допустимым значением уставки срабатывания аппарата в случае понижения напряжения сети на 15% от номинального.

В результате разработан алгоритм, обеспечивающий автоматическое изменение уставок защиты при изменении напряжения сети с изолированной нейтралью, а также при одно- и двухфазных утечках. Применение данного алгоритма управления для аппаратов защиты от токов утечки позволит повысить надежность и устойчивость системы защиты, предотвращая ложные срабатывания и появление токов утечки выше предельно допустимых значений.

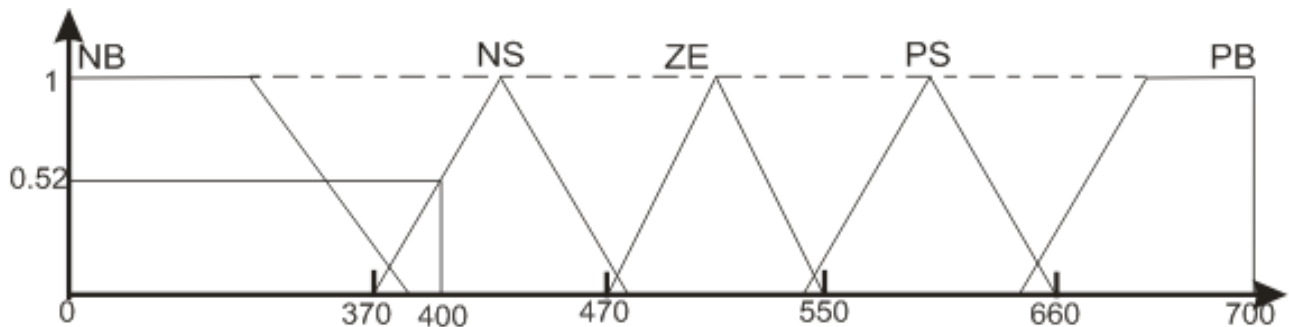


Рисунок 3 – Функция принадлежности «амплитуда напряжения»



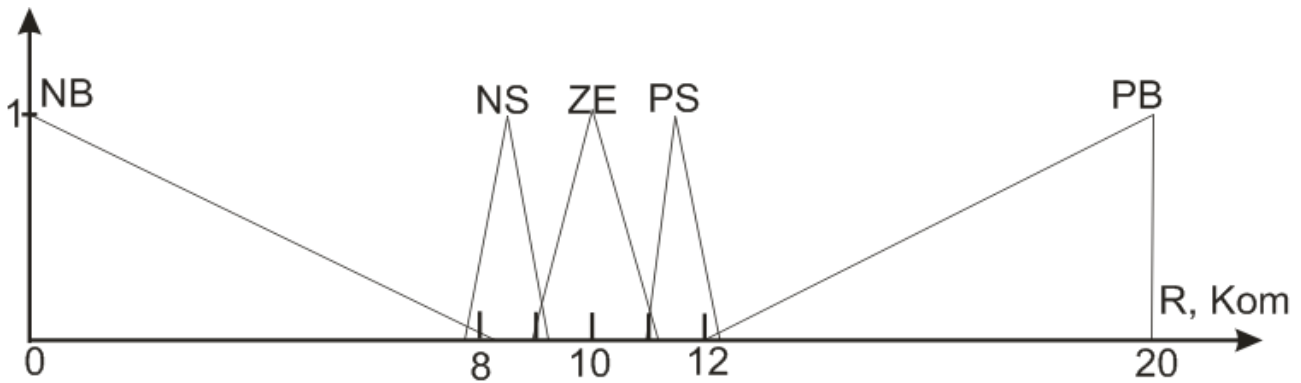


Рисунок 4 – Функция принадлежности «уставка срабатывания»

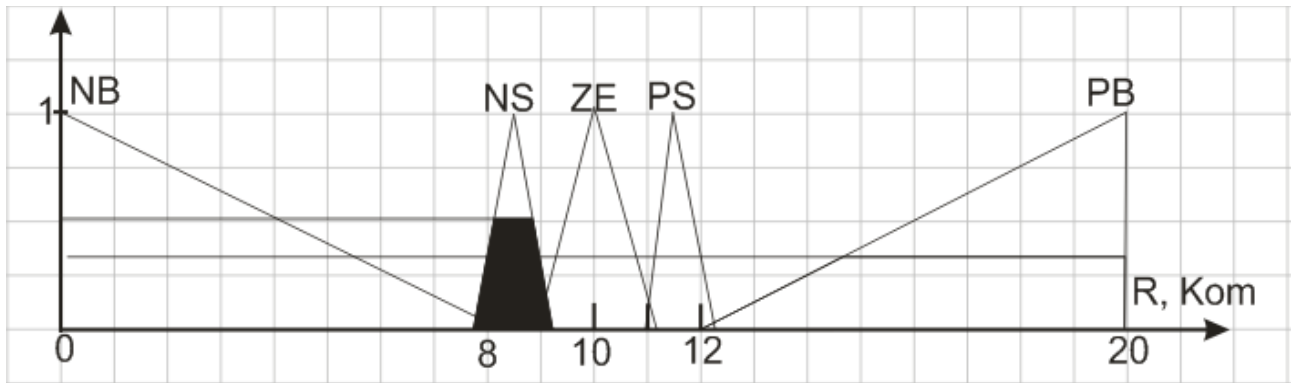


Рисунок 5 – График функции принадлежности двух нечетких множеств лингвистической переменной «уставка срабатывания» после аккумуляции

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дзюбан В.С. Аппараты защиты от токов утечки в шахтных электрических сетях. М.: Недра, 1982. 152 с.
2. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде Matlab и Fuzzytech. Спб, 2005.

УДК 622.0025:621.314.632

КРИЦКИЙ А.Б.,  
ФЕШИН Б.Н.

### Супервизорное управление электротехническими комплексами систем теплоснабжения мегаполисов

Эффективность функционирования систем теплоснабжения мегаполисов (СТМ) может быть повышена при использовании принципов супервизорного управления (*super* (лат) – сверху, *visio* (лат) – видеть, то есть: наблюдающая (видящая) сверху) электротехническими комплексами, в том числе статическими режимами асинхронных электроприводов насосных станций с частотным управлением.

Рассмотрим процесс интеграции программных комплексов информационно-графических систем типа ГИД-99w, ТГИД-05 в АСУ ТП СТМ с целью построения на их основе системы супервизорного управления.

Информационно-графические системы могут рассматриваться как основа программно-математического обеспечения АСУ ТП теплоснабжающих систем мегаполисов при решении задач управления режимами работы, контроля

состояния теплоснабжающих систем и защиты оборудования от аварийных режимов (в том числе от гидравлических ударов). ИГС ТГИД-05 обладает функцией интеграции с АСУ ТП.

Промышленная автоматизация уменьшает численность обслуживающего оборудование персонала, повышает надежность и долговечность машин, дает экономию материалов, улучшает условия труда и повышает безопасность производства. Высокий уровень производительности достигается благодаря тому, что используются эффективные технические средства автоматизации. Они обеспечивают автоматическое получение, передачу, преобразование, сравнение и использование информации в целях контроля и управления производственными процессами.

АСУ ТП системы теплоснабжения мегаполисов позволяет решать задачи:

– обеспечения в разные периоды времени стабильных комфортных или пониженных температур воздуха в отапливаемых помещениях на уровне, заданном самим потребителем;

– поддержания заданных гидравлических (давления, разности давлений) и тепловых (температуры) режимов в различных звеньях этих систем.

– экономии тепловой энергии или топлива, а также средств, расходуемых на их оплату, которая достигается путем максимального использования для отопления «бесплатных» теплопоступлений в помещения от людей, освещения, солнечной радиации, электрических приборов и т. д., для снижения температуры воздуха во временно неэксплуатируемых помещениях, а также температуры горячей воды в системе ГВС при ее длительном бездействии. При использовании средств автоматизации экономия теплоты или топлива составляет не менее 20% от их годового расхода;

– упрощения эксплуатации системы теплоснабжения;

– автоматизированная система не требует активного вмешательства человека в управление нормальной работой технологического оборудования;

– охраны окружающей среды за счет исключения выбросов в атмосферу продуктов сгорания экономленного топлива.

В настоящее время на рынке информационных технологий экономического пространства СНГ появились первые проекты АСУ ТП для отдельных технологических установок систем централизованного теплоснабжения (водоподготовительные установки источников тепла, насосные станции, центральные тепловые пункты, индивидуальные тепловые пункты потребителей). Программно-аппаратная платформа современных АСУ ТП строится на базе микропроцессорных программно-технических комплексов (ПТК), в составе которых могут быть средства цифровых промышленных сетей, позволяющих присоединять к одной шине сотни контроллеров и пультов и распределять их на значительные расстояния, широкий спектр контроллеров по вычислительным возможностям, широкий спектр информационных сетей для связи пультов операторов между собой, с серверами баз данных, для взаимодействия ПТК с сетью предприятия, средства взаимодействия пультов управления в режиме клиент/сервер.

Аппаратная платформа АСУ ТП технологических установок теплоснабжающей системы в зависимости от технологической сложности может иметь трехуровневую (источники тепла) или двухуровневую структуру (сетевые технологические установки). Нижний уровень представляют датчики с унифицированными сигналами, дискретные датчики, анализаторы, устройства связи с объектами, исполнительные механизмы регуляторов, электроприводы запорной арматуры, насосных агрегатов и прочих механизмов технологических схем установок. Средний уровень представлен станциями управления агрегатами (СУА) и общим для

технологических процессов оборудованием (в котельных установках – это станции управления отдельными котлами, водоподготовительной установкой, циркуляционной насосной станцией и т.п.). Станция управления содержит программируемые промышленные логические контроллеры (ПЛК), цветные сенсорные операторские панели, коммутационную аппаратуру, вторичные источники питания, промышленный концентратор информации. Верхний уровень представлен операторскими станциями, посредством которых производится контроль и управление всех технологических установок. В состав операторской станции входят: компьютер промышленного исполнения, принтер, источник бесперебойного питания, сетевой коммутатор. Операторские станции связываются с контроллерами станций управления посредством сети Ethernet. Программное обеспечение (ПО) операторских станций включает в себя базовое и прикладное ПО, работающее в режиме реального времени. Прикладное программное обеспечение разрабатывается в среде специализированных или инструментальных SCADA-систем.

АСУ ТП центральных тепловых пунктов (ЦТП), реализуется двухуровневой системой управления. Нижний уровень реализован на базе микропроцессорных программно-технических комплексов (ПТК) и обеспечивает управление технологическим оборудованием ЦТП и учет энергоносителей. Оборудование ЦТП может работать как автономно, так и в режиме управления с верхнего уровня. Верхний уровень представляет собой рабочее место диспетчера, оборудованное ПК. Диспетчер, например, района эксплуатации управляет работой нескольких ЦТП. Сбор данных и управление оборудованием ЦТП может выполняться по выделенным телефонным линиям, GSM- и радиоканалам. Информация об аварийной ситуации немедленно передается на верхний уровень системы и позволяет свести к минимуму время локализации аварийной ситуации. Функциональность АСУ ТП каждого ЦТП системы представлена следующими классами функций: контроль и регулирование параметров режима ЦТП, противоаварийная защита и сигнализация, программно-логическое управление насосами с нерегулируемым и частотно-регулируемым приводом, архивирование текущих значений аналоговых и дискретных параметров режима и аварийных событий, диспетчеризация.

Таким образом, структура иерархических систем управления теплоснабжением мегаполисов такова: сеть первичных датчиков передает на диспетчерский сервер данные по функционированию тепловых сетей (температура в контрольных точках, давление, расход воды, параметры работы насосов и т.д.), которые анализируются компьютерным программным комплексом. Этот программный комплекс производит автоматическое формирование и решение больших размеров систем нелинейных уравнений эксплуатационных и аварийных теплогидравлических режимов СТМ переменной технологической структуры. Инструменты программного комплекса

На рисунке 1 представлена концептуальная модель интеграции ИГС ТГИД-05 с АСУ ТП.

позволяют создавать реальную пространственную анимационную модель комплекса СТМ, на которой отражен каждый элемент (насос, трубопровод, задвижка, диафрагма и т.д.), его характеристики (диаметр труб, показания приборов учета) и положение в данный момент (включен или выключен, какова уставка в данный момент), что позволяет диспетчеру наглядно видеть работу всей сети и ее составляющих и непосредственно с экрана монитора управлять режимом, корректировать результаты как по элементам, так и глобально по всей модели. Кроме того, программный комплекс, в зависимости от сформулированной задачи, может автоматически поддерживать заданный режим, отражая свои действия для контроля оператора, которому предлагается оптимальный вариант достижения результата для окончательной оценки и принятия решения. Интерактивный режим работы с программным комплексом, где внесенные изменения любого параметра тут же отражают изменения результирующих величин, позволяет оперативно управлять конкретной энергетической ситуацией и просто незаменим при проектировании и реконструкции тепловых сетей и подборе оборудования.

Весь комплекс компьютерного управления работы теплосетей с устройствами для сбора информации и передачи управляющих команд – это новая технология, значение которой трудно переоценить при современном развитии энергетики промышленных предприятий и мегаполисов, где применяются мощные энергоисточники различных видов, длина сетей составляет сотни километров, а потребление хаотично изменяется.

Информационные системы для расчета теплогидравлических режимов больших теплоснабжающих систем, действующие в настоящее время в энергетических комплексах мегаполисов постсоветского пространства, не могут претендовать на роль программного компонента для верхнего уровня АСУ ТП, так как не обладают возможностями системной интеграции с программными компонентами АСУ ТП, работающими в реальном времени с данными, поступающими от аппаратных средств по стандарту OPC-клиент-серверной технологии. Кроме этого, эти системы не обладают новой функциональностью, адекватной возможностям совместной обработки условно-постоянной и измеренной информации, определяющей текущее состояние объектов теплоснабжающей системы и обеспечивающей основной экономический эффект от внедрения АСУ ТП.

Информационно-графическая система ТГИД-05, разработанная в КарГТУ (Караганда, Казахстан), является первой попыткой создания программного комплекса, который будет обладать возможностью интеграции со SCADA-системами, построенными на базе ведущих поставщиков ПТК мирового рынка, программное и аппаратное оборудование которых отвечает стандарту обмена данными OPC (OLE for Process Control).

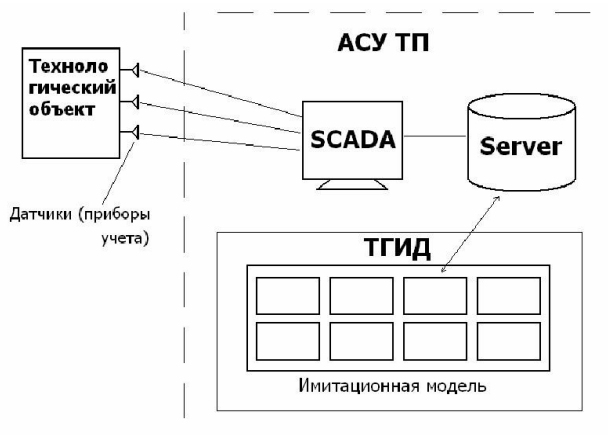


Рисунок 1 – Концептуальная модель интеграции ИГС ТГИД-05 с АСУ ТП

На верхнем уровне СТМ (уровень оперативного управления установками и процессами, программирование, наладка и диагностика контроллеров среднего уровня, установка режимных карт, контрольных точек, блокировок, параметров настройки систем регулирования и т.п.) могут быть размещены:

- персональные компьютеры типа IBM PC в офисном исполнении, устанавливаемые на столах операторов пульта управления в качестве операторских станций, предназначенных для оперативной работы сменных диспетчеров, в качестве инженерных станций, предназначенных для инженерного персонала, выполняющего программирование, наладку и диагностику контроллеров, настройку регуляторов без остановки технологического оборудования, установку и настройку защит и блокировок, информационный сетевой обмен с АСУ предприятия и т. п.;

- промышленные компьютеры Pentium фирмы Advantech (Тайвань) + мониторы SVGA 15”+ указатели положения DuraPoint Mouse + функциональные клавиатуры T-161 фирмы TiPro, встраиваемые непосредственно в пульт управления агрегатов или установок;

- персональные компьютеры промышленного исполнения фирмы Advantech на базе процессорной платы PCA-6159H/ BARE (Pentium MMX) и 19” шасси IPC-620 с 21” монитором ViewSonic;

- серверы для ведения баз данных реального времени и для выполнения серверных компонентов ПО АСУ ТП;

- дублированные и одиночные персональные компьютеры промышленного производства (пункты управления - ПУ) в структуре автоматизированных рабочих мест сменных диспетчеров и операторов линейно-производственного управления;

- центральные концентраторы информации (ЦКИ) на базе рабочих станций, работающих в режиме серверов и поддерживающих функции диспетчерского управления. Концентратор информации (КИ)

выполняет функции сбора и обработки технологической информации с подчиненных ему КП и реализован на аппаратной платформе фирмы Ostagon Systems (США), обладающей повышенной устойчивостью к температурным и механическим воздействиям. Использована процессорная плата MicroPC 5066. КИ не имеет средств человеко-машинного интерфейса и выполняет свои функции в автоматическом режиме.

На компьютерах АСУ ТП верхнего уровня СТМ могут быть установлены различные операционные системы, работающие в режиме, максимально приближенном к режиму реального времени.

Основу программного обеспечения (ПО) АСУ ТП верхнего уровня составляет SCADA программа (Supervisory Control And Data Acquisition – система сбора данных и оперативного диспетчерского управления), реализующая все основные функции визуализации измеряемой и контролируемой информации, передачи данных и команд системе контроля и управления. Современные SCADA состоят из инструментального и исполнительного комплекса. Инструментальный комплекс предназначен для разработки конкретного ПО автоматизированных рабочих мест (АРМ) технолога, оператора, диспетчера и др. Исполнительный комплекс реализует разработанное ПО в определенной операционной среде.

Диспетчерское управление, сочетающее интеллектуальные возможности профессионально подготовленных людей (диспетчеров) и информационных технологий, обеспечивающих процесс принятия оперативных и долгосрочных диспетчерских решений достоверными и исчерпывающими профессиональными знаниями, является в настоящее время основным методом автоматизированного управления сложными техногенными системами большой энергетики, наземного и воздушного транспорта и систем городских мегаполисов.

Требования безопасности и надежности диспетчерского управления являются преобладающими на множестве общего комплекса требований к АСУ ТП, так как выдача ложной команды на объект управления при любом единичном отказе оборудования или единичной ошибке оператора недопустима.

SCADA-система занимает основную часть функциональной схемы АСУ ТП верхнего уровня

СТМ, представленной на рисунке 2. На ней выделены пять функций человека-оператора в системе диспетчерского управления как набор вложенных циклов, в которых оператор:

- планирует, какие следующие действия необходимо выполнить;
- обучает (программирует) компьютерную систему на последующие действия;
- отслеживает результаты полуавтоматической работы системы;
- обрабатывает критические ситуации, требующие принятия ответственных решений (когда автоматика не может справиться, либо при необходимости подстройки (регулировки) параметров процесса);
- обучается в процессе работы (получает опыт).

Основными особенностями процесса управления в современных диспетчерских системах являются следующие:

- процесс SCADA применяется в системах, в которых обязательно наличие человека (оператора, диспетчера);
- оператор несет, как правило, общую ответственность за управление системой, которая, при нормальных условиях, только изредка требует подстройки параметров для достижения оптимальной производительности;

– активное участие оператора в процессе управления происходит нечасто и в непредсказуемые моменты времени, обычно в случае наступления критических событий (отказы, нештатные ситуации и пр.);

- действия оператора в критических ситуациях могут быть жестко ограничены по времени (несколькими минутами или даже секундами).

К SCADA-системам АСУ ТП верхнего уровня СТМ предъявляются следующие основные требования:

- надежность системы (технологическая и функциональная);
- безопасность управления;
- точность обработки и представления данных;
- простота расширения системы.

Основные функции SCADA-систем АСУ ТП верхнего уровня СТМ, в соответствии с рисунком 2, следующие:

- сбор текущей информации от контроллеров или других приборов и устройств, связанных непосредственно или через сеть с пультом оператора;

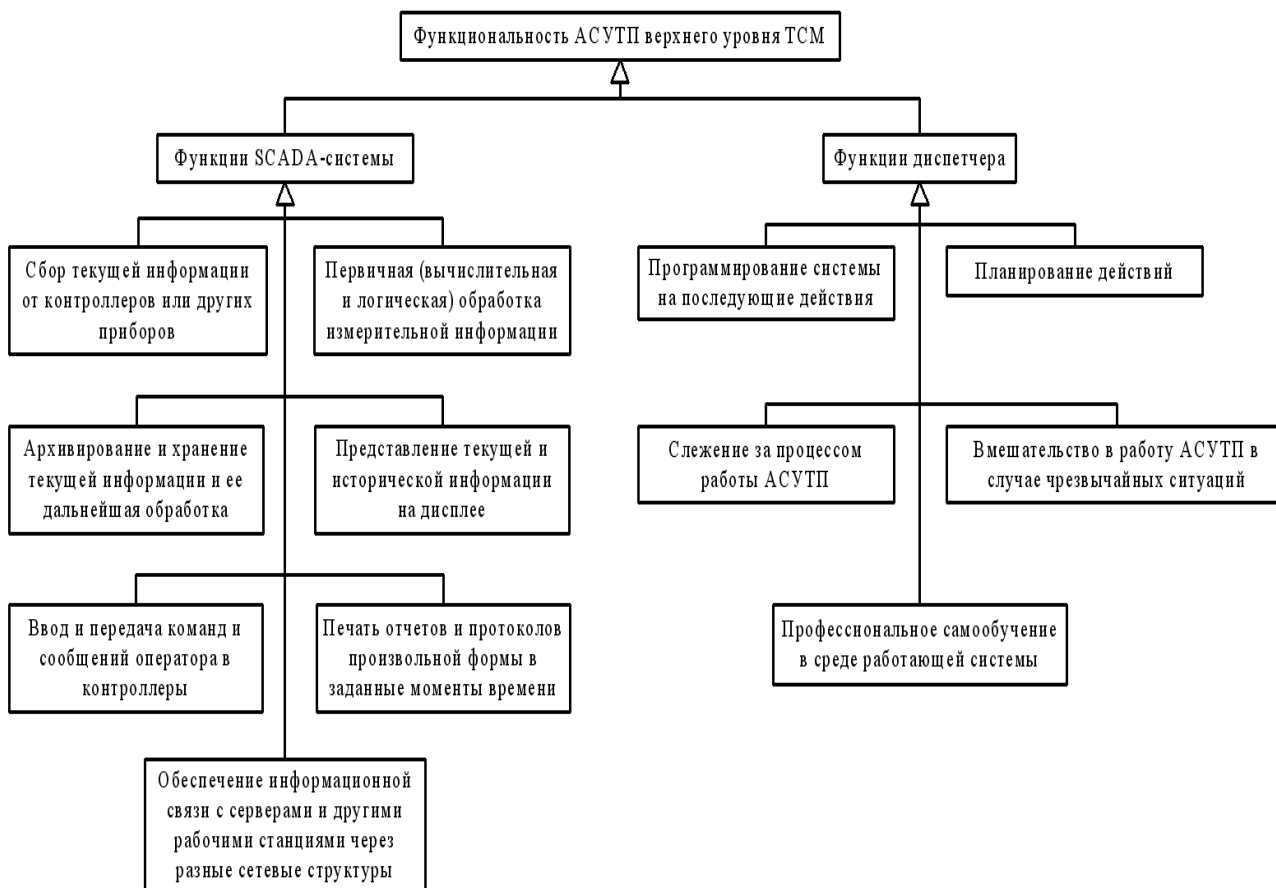


Рисунок 2 – Функциональная схема АСУТП верхнего уровня ТСМ

- первичная (вычислительная и логическая) обработка измерительной информации;
- архивирование и хранение текущей информации и ее дальнейшая необходимая обработка;
- представление текущей и исторической информации на дисплее (реализация динамизированных мнемосхем, гистограмм, анимационных изображений, таблиц, графиков, трендов, выделение аварийных ситуаций и т.д.);
- печать отчетов и протоколов произвольной формы в заданные моменты времени, показ и запись аварийных ситуаций в моменты их возникновения;
- ввод и передача команд и сообщений оператора в контроллеры и другие устройства системы;
- информационные связи с серверами и другими рабочими станциями через разные сетевые структуры.

Предполагается использование SCADA-системы WinCC. WinCC – это система визуализации, которая сводит вместе на платформе Windows NT ноу-хау фирмы Siemens – ведущего поставщика продуктов в области автоматизации процессов, и компетенцию компании Microsoft – ведущей на мировом рынке в области разработки программного обеспечения для персональных компьютеров.

WinCC – это сокращение от Windows Control Center [Центр управления Windows], он предоставляет пользователю все возможности для надежного управления процессом в стандартной среде Windows NT.

WinCC – первый в мире IHMI (Integrated Human Machine Interface [Интегрированный Человеко-Машинный Интерфейс]) – программная система, которая полностью интегрирует программное обеспечение пользователя для управления установкой в автоматизируемый процесс. Его удобные к использованию компоненты автоматизации предлагают беспрепятственную интеграцию в новые или уже существующие установки.

WinCC комбинирует современную архитектуру приложений Windows NT с простотой использования графической разработки программ. Он предоставляет все необходимые функции для построения полного мониторинга процесса и решения задач управления.

Принципиально важно наличие в WinCC средств, позволяющих получать информацию от датчиков, обрабатывать её и воздействовать на исполнительные механизмы и частотные преобразователи.

В полнофункциональной АСУ ТП ТСМ компонентой верхнего уровня, играющей роль системного интегратора, выступает ИГС ТГИД-05, которая в рамках супервизорной системы управления позволяет решать задачи в режимах разделенного и реального времени, связанные с выбором задающих воздействий для частотно-управляемых электроприводов насосных станций каждой ветви теплоснабжающей сети с обеспечением в этих ветвях требуемых пьезометров.

УДК 621.865.8  
ШПАКОВА Л.Г.

## Реализация системы управления координированием манипулятора методами fuzzy-логики

Робот является машиной автоматического действия, объединяющей свойства исполнительных и информационных устройств. Таким образом, робот – это принципиально новый вид машин. В достаточно развитом виде роботы, аналогично человеку, осуществляют активное силовое и информационное взаимодействие с окружающей средой и благодаря этому могут не только обладать искусственным интеллектом, но и совершенствовать его.

Роботов-манипуляторов (РМ) выделяют в отдельный класс. Манипулятор – управляемое устройство, предназначенное для выполнения сложных действий, операций, аналогичных движениям руки человека [1].

В качестве объекта экспериментов был выбран учебный робот-манипулятор, произведенный НИИ «Уралучтех» (Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск).

РМ – сложный механизм, на качество работы которого влияет множество параметров, которые, в свою очередь, могут привести к различным ошибкам. Поскольку все возможные причины возникших ошибок не могут быть известны, то реализация «нечеткого» fuzzy-регулятора имеет определенное преимущество. Кроме того, использование классических замкнутых алгоритмов управления, таких как пропорционально-интегрально-дифференциальный (PID), является недостаточным, если замкнутая система вынуждена приспосабливаться к условиям работы двигателя. Использование fuzzy-логики имеет большой потенциал в области искусственного интеллекта и мехатроники. Fuzzy-логика имитирует человеческий способ мышления и процесс принятия решений [2].

В отличие от всех остальных регуляторов в fuzzy-регуляторе определение входных и выходных переменных осуществляется в лингвистической форме, что и является важным преимуществом данного подхода. Использование лингвистической интерпретации переменных значительно упрощает процесс описания систем любой сложности.

Исходная идея теории нечетких множеств (ТНМ) заключается в том, чтобы принадлежность элементов к тому или иному множеству определять не в форме однозначных ответов «да» или «нет», как в традиционной теории множеств, а с помощью ответов типа «может быть», «вероятнее всего». Для этого используются так называемые функции принадлежности, которые могут принимать любые промежуточные значения между единицей, соответствующей, как и в алгебре, логике, однозначному «да», и нулем, соответствующим «нет» [3].

В нечеткой логике вводится понятие лингвистической переменной, значениями которой являются не числа, а слова естественного языка, называемые термами. Например, в случае управления схватом робота можно ввести две лингвистические переменные: ДИСТАНЦИЯ (расстояние до помехи) и НАПРАВЛЕНИЕ (угол между продольной осью робота и направлением на заданную точку).

Рассмотрим лингвистическую переменную ДИСТАНЦИЯ. Значениями ее можно определить термами ОЧЕНЬ ДАЛЕКО, ДАЛЕКО, БЛИЗКО и ОЧЕНЬ БЛИЗКО. Для физической реализации лингвистической переменной необходимо определить точные физические значения термов этой переменной. Пусть переменная ДИСТАНЦИЯ может принимать любое значение из диапазона от нуля до бесконечности. Согласно положениям теории нечетких множеств, в таком случае каждому значению расстояния из указанного диапазона может быть поставлено в соответствие некоторое число от нуля до единицы, которое определяет степень принадлежности данного физического расстояния (допустим, см) к тому или иному терму лингвистической переменной ДИСТАНЦИЯ. Степень принадлежности определяется так называемой функцией принадлежности  $\mu(d)$ , где ось абсцисс – расстояние до помехи.

На рисунке 1 расстоянию, равному 7 см, соответствуют терм БЛИЗКО, имеющий степень принадлежности  $\mu = 0,6$ , и терм ДАЛЕКО, для которого  $\mu = 0,4$ .

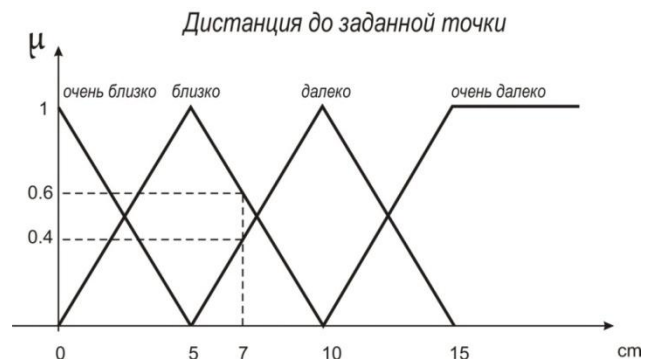


Рисунок 1 – Лингвистическая переменная и функция принадлежности

Переменной ПОЛОЖЕНИЕ схвата, которая может принимать значения в диапазоне от 0 до  $n$  градусов (в зависимости от сочленения), зададим термы СЛЕВА, СПРАВА, ВВЕРХУ, ВНИЗУ, ВПЕРЕДИ, СЗАДИ.

Теперь необходимо задать выходные переменные. В рассматриваемом примере достаточно двух, которые будут называться СКОРОСТЬ и РУЛЕВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ. СКОРОСТЬ может содержать

термы: БЫСТРО, МЕДЛЕННО, СРЕДНЕ и СТОП. Выходная переменная РУЛЕВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ может содержать термы ВЛЕВО, ВПРАВО, ВНИЗ, ВВЕРХ, ВПЕРЕД, НАЗАД.

Объединенная процедура определения функций принадлежности (ФП) нечеткого правила «ЕСЛИ-ТО» и агрегирования нескольких таких правил называется инференц-процедурой или инференцией.

В нашем случае всю представленную ранее базу правил можно привести к виду, изображенному на рисунке 2.

		Distance			
		ZE	PM	PB	PBB
Position	N	ST	SN	MN	QN
	P	ST	SP	MP	QP

Рисунок 2 – Таблица правил для робота-манипулятора

Здесь: position – положение (P – положительное, N – отрицательное); distance – дистанция (ZE – очень близко, PM – близко, PB – далеко, PBB – очень далеко). И выходные переменные: ST – стоп; SN – медленно отрицательно; SP – медленно положительно; MN – среднеотрицательно; MP – среднеположительно; QN – быстро отрицательно; QP – быстро положительно.

Агрегирование, или композиция нескольких правил «ЕСЛИ-ОТ», связанных союзом «ИЛИ», осуществляется путем максимизации ФП всех объединяемых правил.

При осуществлении инференц-процедуры наиболее часто применяют метод максимина, в котором получают трапецию, ограниченную термой и функцией принадлежности [3].

Для того чтобы по полученной таким образом результирующей ФП найти конкретное значение управляющего воздействия  $y$ , применяют процедуру дефазификации. Наибольшее распространение получил метод «центра тяжести», согласно которому значение  $y$  – управляющего воздействия находят как абсциссу «центра тяжести» площади, расположенной под графиком ФП.

На рисунке 3 проиллюстрированы основные процедуры fuzzy-логики для двух нечетких правил «ЕСЛИ-ТО» для робота-манипулятора. Они содержат две нечеткие переменные  $x_1$  и  $x_2$  (дистанция до точки и положение соответственно), соединенные союзами

«И», «ИЛИ».

Проиллюстрируем процедуры fuzzy-логики для робота-манипулятора, в котором входные переменные  $x_1=3$  и  $x_2=0,3$ . Алгоритм нечеткого управления представлен следующими четырьмя правилами:

$$\begin{cases} \text{I } \delta \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{e} \hat{i} \text{ 1: } \hat{A} \hat{N} \hat{E} \hat{E} \hat{D} \hat{I} \hat{e} \hat{D}, \delta \hat{i} \text{ SP,} \\ \text{I } \delta \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{e} \hat{i} \text{ 2: } \hat{A} \hat{N} \hat{E} \hat{E} \hat{D} \hat{I} \hat{e} \hat{N}, \delta \hat{i} \text{ SN,} \\ \text{I } \delta \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{e} \hat{i} \text{ 3: } \hat{A} \hat{N} \hat{E} \hat{E} \text{ ZE } \hat{e} \hat{e} \hat{D}, \delta \hat{i} \text{ ST,} \\ \text{I } \delta \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{e} \hat{i} \text{ 4: } \hat{A} \hat{N} \hat{E} \hat{E} \text{ ZE } \hat{e} \hat{e} \hat{N}, \delta \hat{i} \text{ ST.} \end{cases}$$

Выполняя процедуру агрегирования, получаем результирующую ФП, соответствующую агрегируемым функциям. Найденное в результате дефазификации по методу центра тяжести  $y = 0,85$ .

Путем перепрограммирования микроконтроллера PIC16F877A, являющегося центральным звеном системы управления роботом, полученная база правил была внесена в код управления робота-манипулятора.

На рисунке 3 показан график достижения предельных значений в рамках исходной системы управления и при помощи fuzzy-регулятора. Ось – это механический предел. Посылка управляющих импульсов происходит с частотой 20 мс. При достижении предельного значения управляющее воздействие продолжается, но работа останавливается, что приводит к сбою системы.

График приближения к заданной точке при помощи fuzzy-регулятора изображен на рисунке 4. По мере приближения уровня выходного сигнала к заданному скорость управляющего воздействия постепенно замедляется до полной остановки.

При сравнении видно, что время достижения при fuzzy-регулировании уменьшилось с 60 мс до 20 мс за счет последовательной посылки сначала импульсов с высокой частотой, и замедление по мере приближения к заданной точке.

В процессе создания системы управления пятизвенным роботом-манипулятором решены задачи реализации методов нечеткой логики, спроектирована база правил fuzzy-регулятора, создан новый программный код для PIC контроллера.



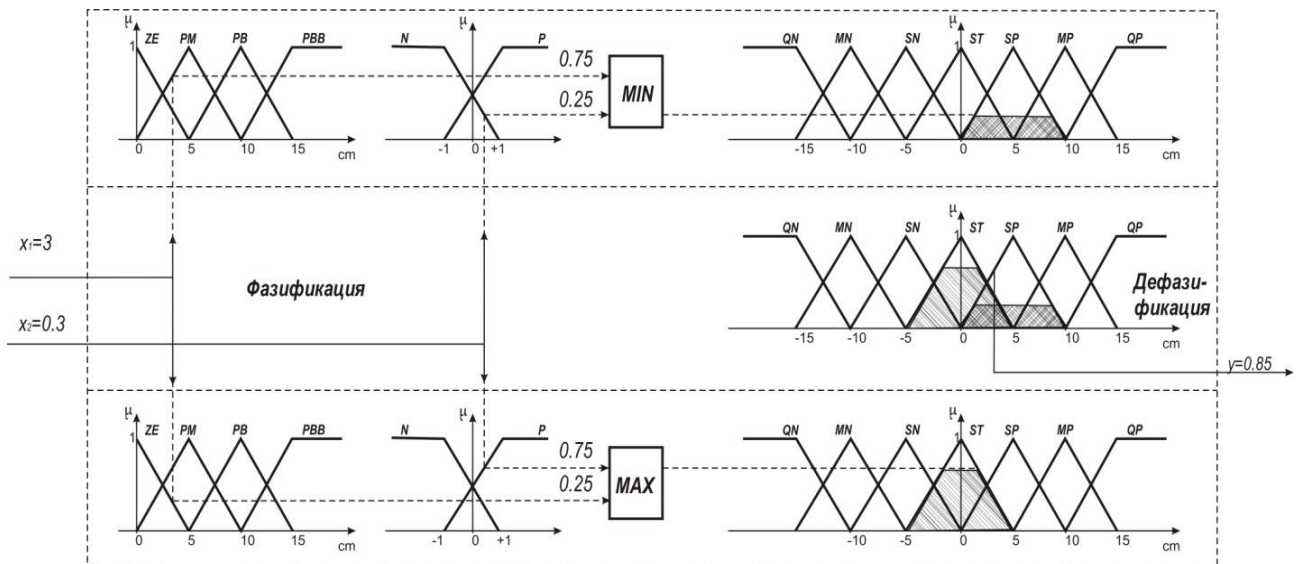
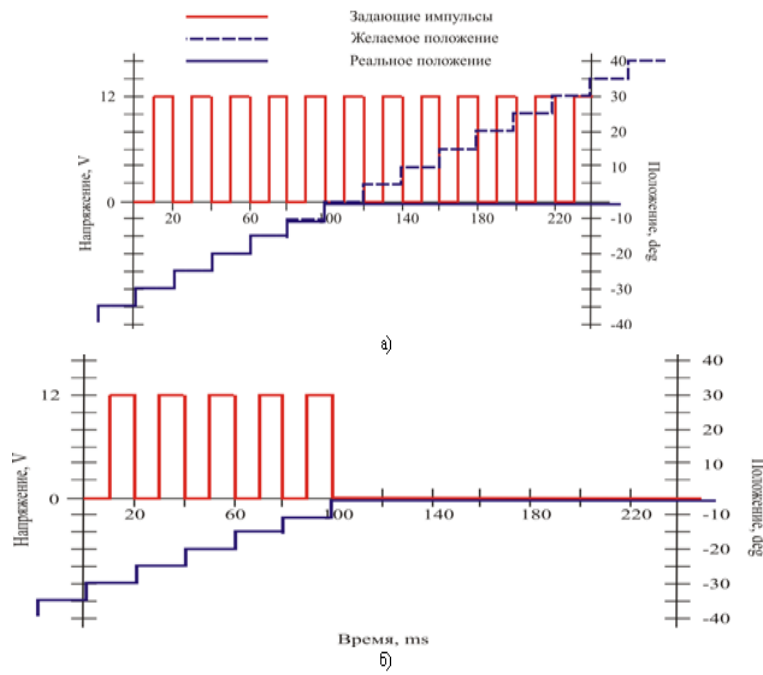


Рисунок 3 – Реализация процедур fuzzy-логики для двух управляющих правил

Разработанный нечеткий регулятор является лучшим вариантом управления сложной задачи координирования схвата многозвенным роботом-манипулятором.

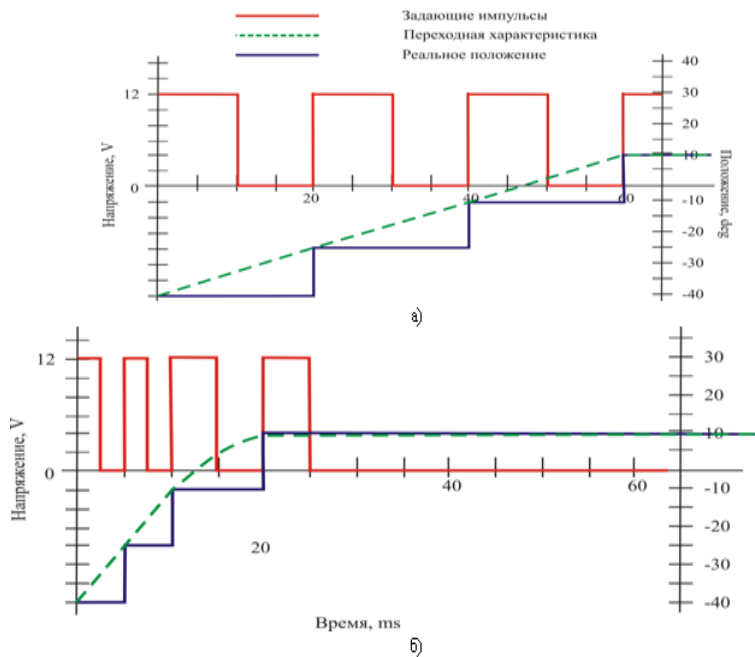
Экспериментальные результаты, представленные в настоящей работе, подтверждают эффективность использования нечеткого регулятора в управлении роботом-манипулятором.



а) исходной системы управления, б) при помощи fuzzy-регулятора

Рисунок 3 – График достижения предельных значений





а) исходной системы управления, б) при помощи fuzzy-регулятора

Рисунок 4 – Приближение РМ к заданной точке

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Накано Э. Введение в робототехнику / Пер. с япон. М.: Мир, 1988. 334 с.
2. Rezeki S.F., Elsodany N.M., Maharem N.A., Fuzzy gain scheduling control of a stepper motor driving a flexible rotor / European Journal of Scientific Research, 2010. №1. P.50-63.
3. Лукас А.В. Основы фазы-управления: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Автоматизация и управление». Екатеринбург, 2000. 62 с.

**УДК 622.44.681.518.3**

**БРЕЙДО И.В.,  
СИЧКАРЕНКО А.В.,  
ШПАКОВ М.А.**

**Подсистема обработки и хранения информации  
в системе пред- и поставарийного контроля состояния  
электрооборудования и технологической среды**

Наиболее распространенной причиной взрывов на шахтах является недопустимая концентрация метана и наличие источников его воспламенения, включая неисправное электрооборудование, искрообразование при коммутации электрических аппаратов с открытыми, в нарушение правил эксплуатации, оболочками взрывозащищенного электрооборудования.

Из-за прекращения функционирования шахтных систем контроля безопасности в момент аварии в дальнейшем не удастся полностью воссоздать процесс развития аварийной ситуации.

Решением проблемы объективного документированного поставарийного контроля для угольных шахт, опасных по газу, пыли и внезапным выбросам, является создание системы пред- и поставарийного контроля (СПАК) технологической среды по образу и подобию авиационных «черных ящиков», основное назначение которого – получение, регистрация, хранение информационных параметров технологической среды как до аварийной ситуации, так и во время аварии, и, что более важно, после нее. Это позволит при анализе причин аварии обладать информацией, которая ранее не была доступна [1].

В процессе сбора информации системой должны контролироваться режимы работы электрооборудования и параметры технологической среды. Объектами контроля режимов работы электрооборудования являются пускатели и автоматы, распределяющие электроэнергию в пределах участка. Контролируемыми параметрами, в данном случае являются: наличие электрической энергии в участковом взрывозащищенном электрооборудовании, целостность кабеля и несанкционированный доступ внутрь оборудования.

Пожары, взрывы и внезапные выбросы сопровождаются повышением температуры, световой, звуковой и ударной волнами. Поэтому параметрами контроля технологической среды являются: контроль содержания метана CH<sub>4</sub>; контроль изменения давления шахтной атмосферы; контроль светового потока, преимущественно в инфракрасной области; акустический контроль; температурный контроль; контроль ускорения и изменения положения корпуса СПАК.

Исходя из требований к СПАК [2], можно разделить работу устройства между основными подсистемами:

1. Подсистемы контроля газовой среды;
2. Подсистемы контроля режимов работы электрооборудования;
3. Подсистемы передачи информации по низковольтной сети;
4. Подсистемы контроля, хранения и обработки информации;
5. Подсистемы съёма информации с устройства.

Структурная схема подсистемы обработки и хранения информации изображена на рисунке.

Подсистема производит сбор информации с различных аналоговых и дискретных датчиков, установленных как за пределами системы, так и датчиков, установленных внутри системы (встроенных во взрывозащитный кожух). Причем все внутренние датчики продублированы, на случай выхода основных датчиков из строя вследствие взрыва.

Информация с датчиков, через блок согласования и гальванической развязки поступает на вход центрального микроконтроллера dsPIC30F6012A. Центральный микроконтроллер производит проверку сигналов на их предаварийное или аварийное состояние, на изменения, произошедшие относительно предыдущих измерений, и в зависимости от этих данных принимает решение об их сохранении.

Для сохранения информации используются два независимых блока хранения информации. Каждый блок находится под управлением микроконтроллера PIC18F4520.

Сохранение информации производится на Flash – носителе информации в формате MMC (Multi Media Card) (далее MMC). Обмен данными между каждым блоком хранения информации с центральным

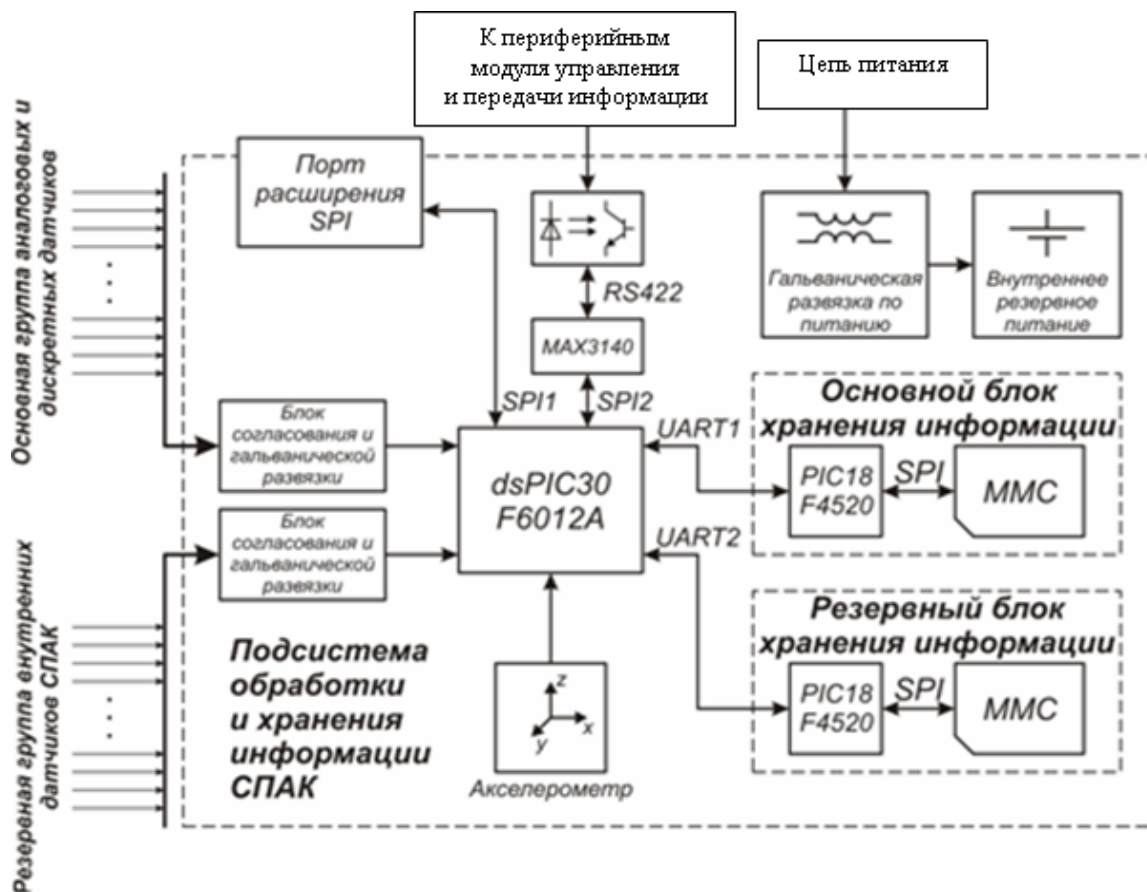
микроконтроллером происходит через интерфейс USART.

Блок акселерометра состоит из 2 типов акселерометров: один для регистрации слабых колебаний +/-3g, а другой для регистрации ударных действий +/-100g.

Для подключения плат расширения предусмотрен соответствующий порт, работающий через интерфейс SPI (Serial Peripheral Interface – последовательный периферийный интерфейс) – один из внутрисхемных интерфейсов связи. Платы расширения предназначены в первую очередь для увеличения числа обрабатываемых аналоговых и дискретных входов. Для работы с периферийными модулями системы, а также для обмена информацией с «внешним миром» и настройкой подсистемы сбора и обработки информации используется второй интерфейс SPI, который с помощью высокоскоростного преобразователя SPI/RS422 и гальванической развязки может работать сразу с несколькими удалёнными устройствами в дуплексном режиме.

Для обеспечения электроискробезопасности цепь питания так же, как все интерфейсы, для подключения внешних датчиков имеет гальваническую развязку.

Отключение электроэнергии, являющееся одним из признаков аварийной ситуации, приводит к переводу устройства на автономное питание от встроенных аккумуляторных батарей. Анализ аварий и следующие за ними мероприятия по ликвидации последствий, а также выяснение причин самих аварий требует продолжения работы устройства в автономном режиме. Ёмкость автономного источника предусматривается достаточной для работы СПАК в течение 7 дней [1].



Структурная схема подсистемы обработки и хранения информации системы и пред- и поставарийного контроля

С целью корректного сохранения данных, в случае окончания заряда основных аккумуляторных батарей, подсистема прекращает работу по анализу входных аналоговых или дискретных данных и переходит в режим пониженного энергопотребления.

**Алгоритм обработки данных СПАК**

Во время стандартной работы устройства для сохранения свободного места на Flash-носителе данные с датчиков должны сохраняться с периодичностью один раз в 5 минут. Такая периодичность сохранения данных позволит сократить их размер в сутки до  $24 \cdot 12 \cdot (N/8) + M + K + 1$  байт, где 24 – количество часов в сутках, 12 – количество 5-минутных интервалов в часе, N – количество дискретных датчиков, M – количество аналоговых датчиков, K – строка сопоставления времени события (HH.MM.SS.MS), 1 – символ переноса строки. Однако для ещё большей экономии места можно создавать относительные временные метки, то есть записывать не полное время события, а промежуток времени, в миллисекундах, прошедших с момента последней записи. Таким образом, если брать промежуток в 5 минут, необходимо затратить 4 байта на запись времени и ещё 1 байт – идентификатор сокращённой записи, итого 5 байт. После преобразования с учётом вышесказанного формула примет вид  $24 \cdot 12 \cdot (N/8) + M + 3 + 1$  или  $24 \cdot 12 \cdot (N/8) + M + 4$ . Но и это ещё не предел для сокращённой записи информации с датчиков: нет необходимости дублировать неменяющуюся

информацию. То есть, если за период в 5 минут состояние датчиков не изменилось относительно предыдущего, то и нет необходимости записывать эту информацию. Однако если изменилось состояние менее половины датчиков, то целесообразнее будет сохранять информацию, сопоставляя каждое изменившееся значение с его идентификационной меткой. А при неизменном состоянии всех датчиков можно производить запись специальной однобайтной метки, сведя тем самым количество сохраняемой информации к минимуму.

Так как устройство будет производить опрос датчиков с частотой 1 кГц, то для регистрации изменений состояния какого-либо датчика также удобно использовать короткую запись, потому что изменение состояния более половины датчиков в столь короткий промежуток времени маловероятно.

Регистрация аварийных ситуаций происходит следующим образом. Если акселерометром зарегистрирован толчок СПАК с большим ускорением (значение такого ускорения необходимо установить экспериментально) и от внешних датчиков прервался сигнал, то нет необходимости регистрировать отсутствующий сигнал. Для этого можно записать метку об обрыве связи с внешними датчиками и далее производить регистрацию сигналов только с внутренних датчиков устройства. Однако при обнаружении аварийной ситуации и продолжающей поступать информации от внешних датчиков, естественно эту информацию необходимо

регистрировать так же, как и в штатном режиме, однако, в зависимости от типа аварийной ситуации, с большей частотой. Частота сохранения контрольных точек, продолжительность аварийных ситуаций приведены в таблице.

## Научные сообщения

### Частота сохранения контрольных точек

Ситуация (сигнал о её начале)	Частота сохранения контрольных точек	Продолжительность ситуации, сигнал о прекращении ситуации	Примечание
Штатный режим	5 минут		Сохраняются также все изменения состояния любого датчика
Световая вспышка без толчка	10 секунд	30 минут без регистрации других аварийных ситуаций	
Превышение предельно допустимой температуры	1 секунда	Снижение температуры до нормального уровня	
Превышение предельно допустимого уровня $\text{CH}_4$	5 секунд	Снижение уровня концентрации до нормального	
Превышение предельно допустимого уровня $\text{CO}$	5 секунд	Снижение уровня концентрации до нормального	
Превышение предельно допустимого уровня $\text{CO}_2$	5 секунд	Снижение уровня концентрации до нормального	
Снижение до предельно допустимого уровня $\text{O}_2$	5 секунд	Нормализация концентрации	
Достижение предельно допустимого давления внешней атмосферы	1 секунда	Нормализация давления	
Превышение установленного уровня звукового давления	1 секунда	1 минута без регистрации других аварийных ситуаций	
Открытие дверцы кожуха	10 секунд	Весь период состояния открытой дверцы и 30 минут после её закрытия	
Регистрация взрыва (сильный толчок, резкое изменение давления, резкий всплеск звукового давления, повышение температуры, снижение уровня $\text{O}_2$ , повышение уровней $\text{CO}$ и $\text{CO}_2$ , прекращение подачи внешнего питания)	Показания акселерометра и датчика атмосферного давления с периодичностью 1 миллисекунда, остальные показатели с периодичностью 1 секунда	Акселерометр и датчик атмосферного давления во время, и в течение 10 минут после прекращения изменения показаний. Остальные показатели до стабилизации значения всех из них. После стабилизации всех показателей, контрольные точки с датчиков берутся с периодичностью в 1 минуту в течение суток, после чего устанавливается периодичность в 5 минут.	К данной аварийной ситуации приводит комбинация из зафиксированного толчка и любой другой предаварийной ситуации.
Слабый толчок	10 секунд	30 минут без регистрации других аварийных ситуаций	
Сильный толчок	1 секунда	1 час без регистрации других аварийных ситуаций	Данные с акселерометра сохраняются с периодом в 100 миллисекунд до полного прекращения изменений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брейдо И.В., Сичкарченко А.В. Принципы построения автоматизированных систем поставарийного контроля угольных шахт / ДГП «Институт горного дела им. Д.А. Кунаева» // Научно-техническое обеспечение горного производства: Тр. Т. 71, Алматы, 2006. С. 220-224.
2. Брейдо И.В., Сичкарченко А.В. Режимы работы интеллектуальной системы пред- и поставарийного контроля угольных шахт // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-21: Тр. XXI Междунар. науч. конф., 27-31 мая 2008 г. / Саратовский гос. техн. ун-т. Саратов, 2008.

УДК 622.232.72.001.24-52

ПАРШИНА Г.И.,  
ФЕШИН Б.Н.

## Алгоритмы оценки качества знаний сотрудников электротехнических служб угольных шахт

Интеллектуальные экспертные обучающие системы, получившие развитие в работах Рыбиной Г.В., Брусиловского П.В., Стефанюка В.А., Брукинт А., Джонс П. и других [1, 2], нашли применение в различных областях промышленности как средства обучения, тренинга, оценки и контроля знаний.

На угольных шахтах, опасных по внезапным выбросам угля и газа, особую важность имеет оценка компетенции сотрудников электротехнических служб. По результатам оценки принимаются последующие решения, в том числе о возможности наделения физического лица полномочиями сотрудника электромеханической службы, необходимости его обучения, тренинга и/или отказа в работе на горнорудном предприятии. Алгоритм работы автоматизированной системы оценки качества знаний (АСО КЗ) содержит следующие компоненты.

1. Регистрация в базе данных АСО КЗ реквизитов и формальных признаков образованности  $P_i$ -го претендента на работу в электротехнической службе предприятия.

2. Оценка компетенции  $P_i$ -го претендента

$$K_{i \min} \leq K_i \leq K_{i \max},$$

где  $K_i$ ,  $K_{i \min}$ ,  $K_{i \max}$  – коэффициенты компетенции, изменяющиеся в диапазоне  $\{0 \div 1\}$  и являющиеся аналогами функции оценки знаний  $R$  из [3].  $K_i$  – фактический,  $K_{i \max}$  и  $K_{i \min}$  – предельно допустимые коэффициенты.

3. При  $K_i \geq K_{i \min}$  принимаются решения (ПР3) о достаточной теоретической компетенции претендента и он допускается к процессу интенсивного тренинга, позволяющего выявить психологическую готовность и устойчивость знаний претендента к работе в условиях нормальной эксплуатации горнорудного предприятия, а также при авариях и катастрофах.

4. При  $K_i \leq 0,95K_{i \min}$  уровень теоретических знаний претендента не достаточен для принятия решений (ПР4) о его компетенции, но допустим процесс экспресс-обучения (ЭО) с последующей оценкой компетенции (см. п.2).

5. При  $K_i \leq 0,8K_{i \min}$  уровень теоретических знаний претендента требует достаточно продолжительного обучения (ПО) с многократной проверкой усвоенных знаний, позволяющих постепенно получить доступ к п.2.

6.  $K_i \leq 0,7K_{i \min}$  – уровень знаний претендента не позволяет считать его достойным кандидатом для работы в энергетических службах шахты. Регистрируется момент оценки знаний претендента и устанавливается контрольный срок, достаточный для повторного обучения.

Процесс предварительного тестирования персонала инженерных служб электротехнических комплексов горнорудных предприятий с целью выявления начальных знаний и принятия решения о необходимости повышения квалификации, в случае если начальный уровень знаний недостаточен, состоит из следующих этапов:

– прохождение общего теста по базе тестовых вопросов, входящих в стандартную базу знаний (СБЗ) сотрудника электротехнической службы угольной шахты (ОК2);

– расчет контрольного примера электроснабжения добычного участка угольной шахты с помощью ППП АС РЭС. Начальные данные для расчета формируются в виде файлов-заданий.

Оценка компетенции ОК2 проводится по следующим разделам СБЗ:

– технология горного производства (на угольных шахтах);

– правила безопасности на угольных шахтах;

– правила эксплуатации электрооборудования очистных забоев угольных шахт;

– технико-экономические характеристики электрооборудования, кабельной продукции, средств и систем контроля и управления электроснабжением очистных забоев угольных шахт;

– алгоритмическая основа для расчета схем электроснабжения добычных участков угольных шахт.

По результатам предварительной оценки начальных знаний сотрудника инженерных служб

электротехнических комплексов горнорудных предприятий принимается решение о необходимости прохождения дополнительного тестирования, в случае если уровень выявленных знаний по отдельным темам недостаточен (при  $0,8K_{i \min} \leq K_i \leq 0,95K_{i \min}$ ). В случае если уровень знаний по всем темам недостаточен (при  $0,7K_{i \min} \leq K_i \leq 0,8K_{i \min}$ ), то дополнительное тестирование не производится и претендент проходит усиленный курс подготовки по всем темам. В случае если уровень выявленных знаний достаточно высок (при  $K_{i \min} \leq K_i \leq K_{i \max}$ ), сотрудник электротехнической службы допускается к психологическому (аварийному) тренингу, позволяющему получить сертификат на право работы в электромеханических службах (ЭМС) угольных шахт (см. рисунок).

При прохождении дополнительного тестирования знания сотрудника инженерных служб электротехнических комплексов угольных шахт оцениваются отдельно по всем разделам/подразделам курса, для более детального определения уровня начальной подготовки по каждому разделу/подразделу (ОК2) и формирования траектории обучения (модели обучаемого) специалиста.

В соответствии с моделью обучаемого создается его программа обучения. Период обучения зависит от количества разделов/подразделов его индивидуальной траектории обучения и складывается из времени, запланированного на изучение каждого раздела/подраздела.

Время обучения может увеличиваться/уменьшаться в зависимости от индивидуального графика обучаемого, разработанного в момент формирования траектории обучения, согласованной с преподавателем. Обучение проводится через Интернет в среде Moodle [4]. В качестве обучающих воздействий используются следующие методы дистанционного обучения: анализ теории по главам гипертекстового учебника, мультимедийные презентации, слайд-лекции, видеолекции; практические – учебно-тренировочные задачи (УТЗ), консультация с экспертами, вызов ППП АС РЭС для проведения расчетов в его среде.

После прохождения обучаемыми сотрудниками (ОС) ЭМС отдельных разделов/подразделов курса

предусмотрен промежуточный рубежный контроль в виде контрольных тестов. При получении ОС ЭМС положительных результатов тестирования по всем разделам/подразделам курса траектории обучения удаленный пользователь – ОС ЭМС получает право сдать рубежный тест, методика проведения которого соответствует методике проведения предварительного тестирования. Набор тестовых вопросов является случайной величиной, сформированной на базе тестовых вопросов раздела/подраздела при промежуточном контроле, и на базе тестовых вопросов всех разделов/подразделов при начальном и конечном рубежном контроле.

Проведение промежуточного контроля проводится по критерию оценивания  $R = f(R_{i_R}, C_{i_R})$ , определяемому по формуле [3]:

$$R = R_{j_R} = \frac{\sum_{i_R \in O_C} R_{i_R} \cdot C_{i_R}}{\sum_{i_R \in O_C} C_{i_R}},$$

где  $R = R_{j_R}$  – критерий знаний по множеству вопросов

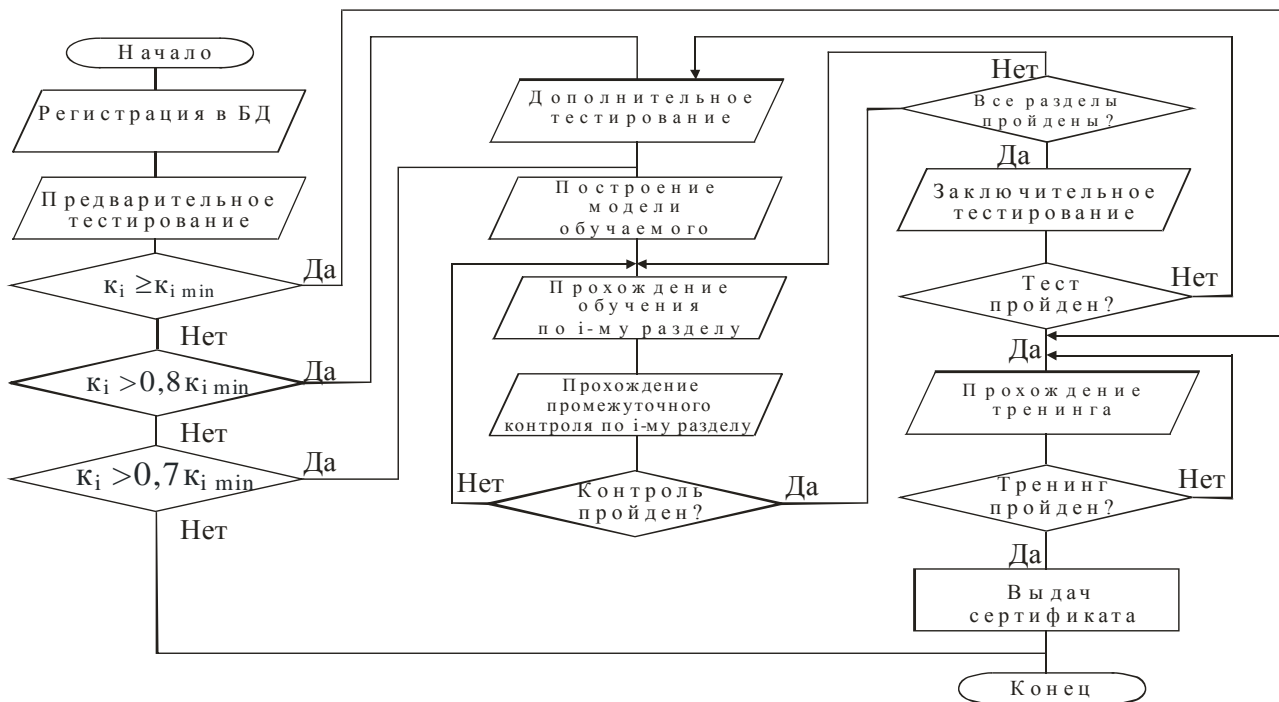
из области  $\Phi_C(R_{j_R}, j_R = \overline{1, m})$ , имеющих

размерность  $j_R = \overline{1, m}$ ;

$R_{i_R}$  – оценка за вопрос  $i_R$ , где  $i_R = \overline{1, 2, \dots}$ ;

$C_{i_R}$  – коэффициент сложности (возможно вероятностная характеристика)  $i_R$  вопроса из области  $\Phi_C$ .

Для адекватной оценки знаний обучаемого на этапе предварительного и заключительного рубежного контроля знаний использование данной методики не достаточно, так как учет только такого параметра, как сложность вопроса, не позволяет адекватно оценить степень подготовки обучаемого. Предлагается в качестве дополнительного параметра при построении модели обучения для рубежного контроля ввести времен-



Алгоритм работы экспертной дистанционной системы оценки знаний

ной параметр  $t$  и его граничное значение  $T_{\min}$ , который для ограничит время прохождения тестов заданным временным интервалом. Данный параметр особенно важен при тестировании обучаемых в рамках дистанционной системы, так как задание временных ограничений уменьшает вероятность использования дополнительной справочной литературы в момент прохождения рубежного контроля, что позволяет увеличить адекватность полученной оценки. Таким образом, значение общей оценки знаний будет определяться как функциональная зависимость  $R = f(R_{i_r}, C_{i_r}, t)$ .

Предлагается четыре алгоритма формирования общей оценки:

Вариант 1:  $R = f(R_{i_r}, C_{i_r})$ , при этом принимается значение оценки  $R_{i_r}$ , равное нулю или единице, то есть оценивание ответов ОС ведется по принципу «сдал»/«не сдал», без ограничения времени тестирования;

Вариант 2:  $R = f(R_{i_r}, C_{i_r})$ , при этом принимается значение оценки  $R_{i_r}$  в пределах 0-10, то есть вопросы имеют градацию по принципу – «самый лучший вариант ответа» (по мнению эксперта), «не совсем полный», «приемлемый» и так далее, без ограничения времени тестирования ОС;

Вариант 3:  $R = f(R_{i_r}, C_{i_r}, t)$ , при этом принимается значение оценки  $R_{i_r}$ , равное нулю или единице, с ограничением времени тестирования ОС;

Вариант 4:  $R = f(R_{i_r}, C_{i_r}, t)$  при этом принимается значение оценки  $R_{i_r}$  в пределах 0-10, с ограничением времени тестирования ОС.

Метод тестирования, основанный на двухбалльной системе, применяется при прохождении тестов, а метод, основанный на десятибалльной системе, – как



тестов, так и для решения учебно-тренировочных задач.

Контроль знаний предлагается проводить:

– в режиме обучения по вариантам тестирования 1-2;

– для промежуточного тестирования по варианту тестирования 3;

– для предварительного и окончательного рубежного контроля (тренинга) по варианту тестирования 4, так как по результатам исследования он дает наиболее адекватную оценку знаний специалиста.

Таким образом, АСО КЗ является дистанционной экспертной системой (ДЭС), позволяющей определить уровень допустимости (тренинга) персонала электротехнических служб (по результатам тестирования на предмет наличия знаний) к эффективной и безопасной эксплуатации ЭК угольной шахты. В ДЭС реализованы такие научные положения, как: существует возможность создания единой информационной базы (базы знаний) электротехнических служб; наблюдается

коррелированность компетентности персонала, эффективности и безопасности работы угольной шахты; динамичное изменение содержания информационной базы электроэнергетических служб возможно в функции состояния и организации производственного процесса на предприятии; компетентность персонала электротехнических служб может быть установлена в процессе экспертной оценки знаний и повышена путем целенаправленного обучения.

Дистанционная экспертная система позволяет в режимах реального и разделенного времени получить: оценку-рейтинг допустимости персонала электротехнических служб ЭК шахты к эффективной и безопасной эксплуатации; прогнозируемый уровень вероятности безотказной работы ЭК шахты; в режимах разделенного времени повысить рейтинг персонала электротехнических служб ЭК шахты путем целенаправленного обучения и контроля знаний.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стефанюк В.Л. Теоретические аспекты разработки компьютерных систем обучения: Учебное пособие. Саратов: СГУ, 1995. 98 с.
2. Рыбина Г.В. Интеграция исследований в области искусственного интеллекта и систем обучения // Новые информационные технологии в электротехническом образовании (НИТЭ-2000): Сборник научных трудов пятой международной научно-методической конференции. Астрахань: ЦНТЭП, 2000. С. 254-258.
3. Фешин Б.Н., Паршина Г.И. Критерии оценки качества знаний персонала инженерных служб электротехнических комплексов горно-рудных предприятий // Труды КарГТУ. Вып. 2. Караганда, 2010. С. 95-100.
4. Паршина Г.И. Опыт внедрения системы для дистанционного образования MOODLE // Труды ун-та. Караганда: КарГТУ, №4. 2004. С. 13-15.
1. Шубов Л.Я., Иванков С.И., Щеглова Н.К. Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья: Справочник: В 2 кн. / Под ред. Л.В. Кондратьевой. М.: Недра, 1990. Кн. 1. 400 с.
2. Глембоцкий В.А. Основы физикохимии флотационных процессов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1980. 471 с.

УДК 622.0025:621.314.632

КРИЦКИЙ А.Б.

### Система управления частотно-регулируемых электроприводов в многоагрегатной насосной станции

В системах теплоснабжения устанавливается, как правило, несколько насосов с целью резервирования на случай аварии, а также для включения в качестве дополнительных для обеспечения необходимого выходного давления в часы максимального потребления воды.

В трехнасосной станции подключаются дополнительные насосы для обеспечения выходного давления и включаются резервные насосы в случае аварии. Управление трехнасосной системой производится внутренним контроллером электропривода.

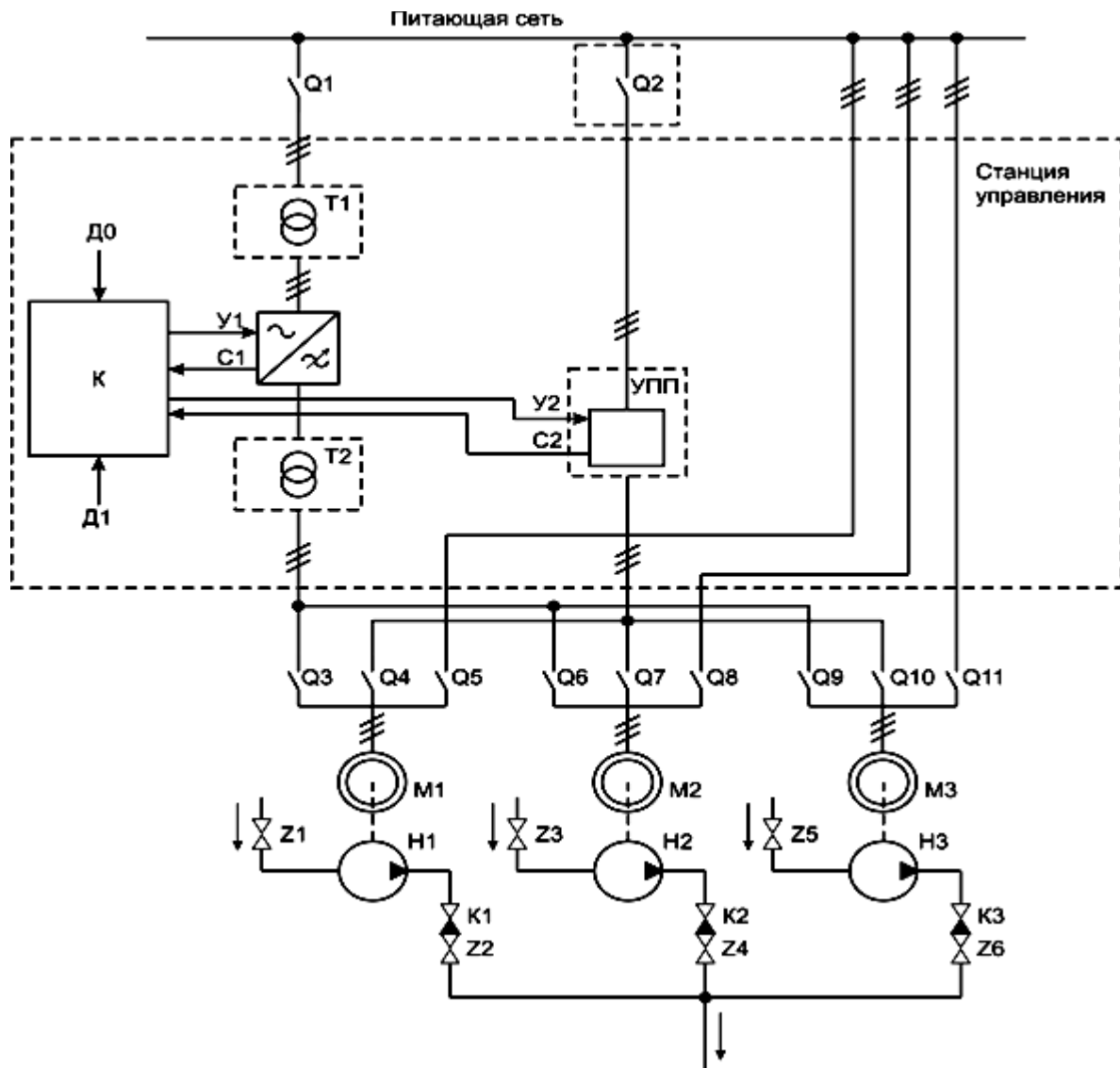
Автоматизированная система управления трехнасосной станцией предназначена для поддержания заданного давления в системе теплоснабжения путем регулирования частоты вращения электродвигателя насоса и подключения дополнительных насосов, а также для включения насосных агрегатов на питание от сети при аварии электропривода.

Выполняемые функции:

- автоматическое поддержание давления в системе теплоснабжения;
- автоматическое включение и выключение дополнительных насосов;
- плавный пуск любого насосного агрегата;
- периодическая смена насосного агрегата, работающего от преобразователя;
- отключение неисправного насосного агрегата, запоминание и вывод его из группы;
- автоматическое включение резервных насосных агрегатов на питание от сети при аварии электропривода;
- задание давления в системе теплоснабжения в зависимости от времени суток;
- учет времени наработки электропривода и потребленной им электроэнергии;
- программирование максимального тока нагрузки каждого электродвигателя;
- программирование состава группы насосов;

- вывод информации о состоянии насосных агрегатов (работающие, отключенные, отключенные по неисправности, вид неисправности).

Электросхема трехнасосной автоматизированной станции приведена на рисунке. Электропривод АТ имеет специальную программу для трехнасосной



УПП – устройство плавного пуска; М1, М2, М3 – электродвигатели переменного тока; Н1, Н2, Н3 – насосные агрегаты; К1, К2, К3 – обратные клапана; Т1 – понижающий силовой трансформатор; Т2 – повышающий силовой трансформатор; Q1...Q11 – выключатели; Z1...Z6 – задвижки; К – контроллер для управления работой насосной станции; Д0 – сигнал задания давления; Д1 – сигнал с датчика давления на выходе насосной станции; У1, У2 – сигналы управления ПЧ и УПП; С1, С2 – сигналы состояния ПЧ и УПП

Функциональная схема насосной станции с тремя параллельно работающими насосами автоматизированной станции и специальный блок программируемых реле, контакты которых показаны на рисунке. Команды на реле подаются с платы контроллера. Подключение электродвигателей к преобразователю или к сети производится реверсивными пускателями КМ1...КМ3, которые включаются через контакты реле. Применение реверсивных пускателей вызвано необходимостью защиты от попадания сетевого напряжения на выход преобразователя. Кнопочные посты S1...S4 позволяют включать насосные агрегаты вручную при выключенном электроприводе АТ, когда реле Кб выключено. Переключатели SA3...SA5 служат для выбора насосных агрегатов, включающихся автоматически при аварии преобразователя.

Программа управления реализована таким образом, что любой включаемый электродвигатель запускается плавно от преобразователя. При включении дополнительного насоса работающий от преобразователя агрегат переключается на работу от сети, а дополнительный подключается к выходу преобразователя и плавно разгоняется.

В состав САУ входят шкаф электропривода АТ04 со встроенным специальным технологическим submodule и силовые электрические аппараты коммутации и защиты. Шкаф электропривода АТ04 выполнен в обычном корпусе. Остальные элементы схемы, кроме датчика давления, размещаются в электрошкафу на объекте.

САУ, функционирующая в рамках иерархической АСУ ТП систем теплоснабжения получает информацию о задающих воздействиях по частоте вращения электродвигателей насосов.

Информационно-графическая система ТГИД-05, играющая роль системного интегратора на верхнем уровне АСУ, предназначенная для имитационного моделирования статических теплогидравлических режимов работы системы централизованного теплоснабжения, позволяет создавать и редактировать

расчетные схемы, производить расчеты плановых и фактических теплогидравлических режимов, обладает мощным инструментарием анализа рассчитанных и измеренных параметров работы и в супервизорном варианте управления позволяет решать задачи в режимах разделенного и реального времени, связанные с выбором задающих воздействий для частотно управляемых электроприводов насосных станций каждой ветви теплоснабжающей сети с обеспечением в этих ветвях требуемых пьезометров.

УДК 004.056

САТЫБАЛДИНА Д.Ж.

### Анализ уязвимостей информационных систем

**В** настоящее время с ростом количества угроз и уязвимостей проблема обеспечения информационной безопасности бизнеса становится всё актуальнее. В этих условиях руководство многих компаний сегодня приходит к тому, что система защиты информационных ресурсов должна строиться исходя из общепринятых норм и с учетом наработанных мировых практик, требований стандартов.

Одним из наиболее значимых международных стандартов в области информационной безопасности является стандарт ISO/IEC 17799, принятый также в Республике Казахстан [1]. В соответствии со стандартом ISO/IEC 17799 основное внимание при проектировании и создании эффективной системы безопасности организации уделяется комплексному подходу к управлению безопасностью. С целью формирования комплексных требований к безопасности информации стандарт определяет необходимость проведения оценки рисков, с которыми сталкивается организация (определение угрозы для ресурсов, их уязвимость и вероятность возникновения угроз, а также возможный ущерб). Именно поэтому выбор правильной методологии оценки угроз, а вместе с ними и уязвимостей информационной безопасности является актуальной проблемой, являясь одним из основных направлений при переходе к международным требованиям.

Ранее нами была разработана автоматизированная система «IT\_Риск\_Менеджер», предназначенная для построения моделей угроз, защиты от них, проведения анализа уязвимостей, возможных событий и оценки рисков в результате нарушений информационной безопасности [2-3]. В настоящей работе представлена концепция оценки уязвимостей различных программных и аппаратных платформ как один из этапов анализа и управления информационными рисками.

Так как уязвимостей, подлежащих категорированию, много, и они оценивались по разным шкалам, то сведение этих данных воедино для общего анализа является сложной проблемой. Общая система оценки уязвимостей (Common Vulnerability Scoring System, CVSS) предназначена для решения этой проблемы [4]. CVSS, разработанная Национальным институтом стандартов и технологий,

совместно с Университетом Карнеги Мелоун, позволяет классифицировать известные и новые уязвимости согласно риску, который эти уязвимости представляют для компании и ее окружения.

Система оценки CVSS состоит из трех метрик: базовой, временной и контекстной. Каждая из метрик, в свою очередь, состоит из набора метрик.

Группа базовых метрик отображает характеристики уязвимости, которые не меняются со временем и не зависят от контекста. Метрики AccessVector (AV, Вектор доступа), AccessComplexity (AC, Сложность доступа) и Authentication (Au, Аутентификация) оценивают, как получить доступ к уязвимости и нужны ли для эксплуатации уязвимости дополнительные условия. Три метрики воздействия – Confidentiality Impact (C, Влияние на конфиденциальность), Integrity Impact (I, Влияние на целостность) и Availability Impact (A, Влияние на доступность) – описывают возможное прямое влияние на IT-систему в случае эксплуатации уязвимости. Это влияние определяется независимо с точки зрения конфиденциальности, целостности и доступности. Это означает, например, что эксплуатация уязвимости может вызвать частичную потерю целостности и доступности, но не влиять на конфиденциальность.

Каждая метрика представляет собой оценку и значение в интервале от 0 до 10 и вектор – краткое текстовое описание со значениями, которые используются для вывода оценки.

Так, метрика AccessVector может принимать три значения Local (L), Adjacent Network (A), Network (N). В таблице 1 в качестве примера приведены её оценки и описания.

Таблица 1 – Оценка Access Vector

Значение метрики	Описание
Локальный (L)	Для эксплуатации уязвимости злоумышленник должен иметь локальный доступ, т.е. физический доступ к системе или локальную учетную запись.
Соседняя сеть (A)	Для эксплуатации уязвимости злоумышленник должен иметь доступ к соседней сети, т.е. такой сети, которая имеет общую среду передачи с сетью, где находится уязвимое ПО.
Сетевой (N)	Для эксплуатации уязвимости

злоумышленник должен обладать доступом к уязвимому ПО, причем этот доступ ограничен только величиной сетевого стека. Локального доступа или доступа из соседней сети не требуется. Такие уязвимости часто называют эксплуатируемыми удаленно.
---

Спектр возможной сложности доступа (AccessComplexity) также расширен: High (H), Med (M), Low (L). Возможные значения аутентификации (Authentication) включают Multiple (M), Single (S) и None (N).

Временные метрики и контекстные являются необязательными, они не влияют на базовую оценку. Эти метрики применяются только в тех случаях, когда пользователь хочет уточнить базовую оценку. Три фактора, которые изменяются со временем и учитываются в CVSS: Exploitability (E, Возможность использования), Remediation Level (RL, Уровень исправления), Report Confidence (RC, Степень достоверности отчета).

Группа контекстных метрик CVSS отражает характеристики уязвимости, которые связаны со средой пользователя: Collateral Damage Potential (CDP, Вероятность нанесения косвенного ущерба), Target Distribution (TD, Плотность целей) и Security Requirements (CR, IR, AR, Требования к безопасности).

Каждая метрика в соответствующем векторе представлена сокращенным именем метрики, за которым следует ":" (двоеточие), а затем – сокращенное значение метрики. Вектор содержит последовательность метрик в заранее заданном порядке, при этом символ "/" (слеш) используется для разделения метрик. Если временная или контекстная метрика не используется, то проставляется значение "ND" (не определено). Базовый, временной и контекстный векторы представлены в таблице 2.

Базовая формула оценки уязвимостей имеет следующий вид (версия 2.10):

$$\text{BaseScore} = \text{round\_to\_1\_decimal}(((0.6 * \text{Impact}) + (0.4 * \text{Exploitability} - 1.5) * f(\text{Impact})),$$

где

$$\text{Impact} = 10.41 * (1 - (1 - \text{ConfImpact}) + * (1 - \text{IntegImpact}) * (1 - \text{AvailImpact})),$$

Таблица 2 – Базовый, временной и контекстный вектор

Название метрики	Описание
Базовый	AV:[L,A,N]/AC:[H,M,L]/Au:[M,S,N]/C:[N,P,C]/I:[N,P,C]/A:[N,P,C]
Временной	E:[U,POC,F,H,ND]/RL:[OF,TF,W,U,ND]/RC:[UC,UR,C,ND]
Контекстный	CDP:[N,L,LM,MH,H,ND]/TD:[N,L,M,H,ND]/CR:[L,M,H,ND]/IR:[L,M,H,ND]/AR:[L,M,H,ND]

В качестве примера в руководстве [4] рассмотрена уязвимость CVE-2003-0818: уязвимость при обработке целочисленных значений в библиотеке Microsoft Windows ASN.1. Уязвимость была обнаружена в сентябре 2003 года и касается библиотек ASN.1 во

$$\text{Exploitability} = 20 * \text{AccessVector} * * \text{AccessComplexity} * \text{Authentication},$$

$$f(\text{Impact}) = 0 \text{ if Impact} = 0, 1.176 \text{ otherwise}$$

$$\text{AccessVector} = \begin{cases} \text{case AccessVector of} \\ \text{requires local access: } 0.395 \\ \text{adjacent network accessible: } 0.646 \\ \text{network accessible: } 1.0 \end{cases}$$

$$\text{AccessComplexity} = \begin{cases} \text{case AccessComplexity of} \\ \text{high: } 0.35 \\ \text{medium: } 0.61 \\ \text{low: } 0.71 \end{cases}$$

$$\text{Authentication} = \begin{cases} \text{case Authentication of} \\ \text{requires multiple instances of} \\ \text{authentication: } 0.45 \\ \text{requires single instance of} \\ \text{authentication: } 0.56 \\ \text{requires no authentication:} \\ 0.704 \end{cases}$$

$$\text{ConfImpact} = \begin{cases} \text{case ConfidentialityImpact of} \\ \text{none: } 0.0 \\ \text{partial: } 0.275 \\ \text{complete: } 0.660 \end{cases}$$

$$\text{IntegImpact} = \begin{cases} \text{case IntegrityImpact of} \\ \text{none: } 0.0 \\ \text{partial: } 0.275 \\ \text{complete: } 0.660 \end{cases}$$

$$\text{AvailImpact} = \begin{cases} \text{case AvailabilityImpact of} \\ \text{none: } 0.0 \\ \text{partial: } 0.275 \\ \text{complete: } 0.660 \end{cases}$$

При использовании временной формулы временные метрики объединяются с базовыми, чтобы вывести временную оценку в интервале от 0 до 10. Временная оценка не превышает базовую и не более чем на 33% меньше ее. При использовании контекстных формул контекстные метрики объединяются с временными метриками, чтобы получить оценку окружения в интервале от 0 до 10. Значение контекстной метрики, полученное из этой формулы, не должно превышать временную оценку.

всех операционных системах Microsoft. Удачная эксплуатация этой уязвимости приводит к переполнению буфера, что позволяет злоумышленнику выполнить произвольный код с привилегиями администратора.

Эта уязвимость эксплуатируется удаленно и не требует аутентификации, поэтому Access Vector равен «Network» и «Authentication» равен «None». Access Complexity имеет значение «Low», потому что дополнительный доступ или специальные условия не требуются для эксплуатации этой уязвимости. Каждая из метрик Impact имеет значение «Complete», потому что существует возможность полной компрометации системы. Эти метрики вместе дают максимальное значение базовой оценки 10.0.

Базовый вектор данной уязвимости: AV:N/AC:L/Au:N/C:C/I:C/A:C. Все оценки представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Оценки и значения базовых метрик для уязвимости CVE-2003-0818

Базовая метрика	Оценка	Значение
Access Vector	[Network]	(1.00)
Access Complexity	[Low]	(0.71)
Authentication	[None]	(0.704)
Confidentiality Impact	[Complete]	(0.66)
Integrity Impact	[Complete]	(0.66)
Availability Impact	[Complete]	(0.66)

Вычисление базовой оценки дает следующий результат:

$$\text{Impact} = 10.41 * (1 - (1 - 0.66) + (1 - 0.66) * (1 - 0.66)) = 10.0,$$

$$\text{Exploitability} = 20 * 1 * 0.71 * 0.704 = 9.99 = 10,$$

$$f(\text{Impact}) = 0, 1.176$$

$$\text{BaseScore} = \text{round\_to\_1\_decimal}(((0.6 * 10.0) + (0.4 * 10.0) - 1.5) * 1.176) = 10.0,$$

Получено максимальное значение базовой оценки 10.0.

Для этой уязвимости существуют эксплойты, поэтому Exploitability имеет значение «Functional». Microsoft выпустила исправление MS04-007 в феврале 2004 года, поэтому Remediation Level имеет значение «Official-Fix» и Report Confidence имеет значение «Confirmed». Эти метрики позволяют скорректировать базовую оценку и получить временную оценку 8.3.

Приняв, что доступность менее важна, чем обычно для целевых систем, и опираясь на значения Collateral Damage Potential и Target Distribution, оценка окружения изменяется в пределах от 0.0 («None», «None») до 9.0 («High», «High»).

Концепция CVSS является понятным, прозрачным и общепринятым способом оценки уязвимостей. Использование доступного математического аппарата в автоматизированной системе «IT\_Риск\_Менеджер» позволило получить корректные количественные оценки уязвимостей. В программе предусмотрено дополнительное применение сканера или технологии мониторинга, чтобы определить наличие уязвимости в сетевом или локальном приложении. Затем эти данные объединяют с базовой, временной и контекстной оценками CVSS, чтобы получить информацию, наиболее полно отражающую риск в данном контексте, и исправить именно те уязвимости, которые представляют наибольшую опасность для информационных систем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТ РК ИСО/МЭК 17799-06 (ИСО/МЭК 17799-2005, IDT). Информационная технология. Методы обеспечения защиты. Свод правил по управлению защитой информации.
2. Сатыбалдина Д.Ж., Холявко А.А. Методы и средства управления рисками // Сб. трудов Второй междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». Алматы, 26-27 февраля 2009. Алматы, 2009. С. 94-98.
3. Сатыбалдина Д.Ж. Проектирование автоматизированной системы управления информационными рисками // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. 2009. №4. С. 173-179.
4. Peter Mell, Karen Scarfone, Sasha Romanosky. A Complete Guide to the Common Vulnerability Scoring System. Version 2.0. 2007. 23 pp.

УДК 621.316.36  
СМАГУЛОВА К.К.

### Модель аппарата защиты от токов утечки в сетях постоянного тока

В горной промышленности стран СНГ используются трехфазные электрические сети с изолированной нейтралью и сети постоянного тока. С точки зрения безопасности и надежности работы необходим систематический и эффективный контроль за состоянием изоляции. В этих условиях особое место отводится техническим средствам –

автоматическим устройствам защиты от электропоражения, роль которых в снижении электротравматизма сегодня значительна и все более возрастает.

Для успешного выбора параметров и оценки эффективности устройств защиты от электропоражения необходим системный подход,

анализ наиболее общих принципов построения защит и параметров, определяющих безопасность эксплуатации электротехнических комплексов. В то же время, недостаточно исследован комплекс задач по созданию надежных автоматизированных аппаратов защиты электротехнических комплексов, существующие технические решения не в полной мере учитывают специфику технологии добычи полезных ископаемых.

К автоматическим устройствам защиты относят устройства защитного отключения (УЗО), реле утечки, устройства автоматического закорачивания на землю поврежденной фазы, компенсации утечек тока на землю, устройства непрерывного контроля изоляции и различные автоматические блокировки.

Недостатки существующих аппаратов заключаются в том, что они обладают низким быстродействием, аппараты выполнены на старой элементной базе, самоконтроль параметров необходимо проводить вручную с определенным интервалом времени, что может привести к нарушениям правил безопасности и травмированию обслуживающего персонала [1].

Если для сетей переменного тока созданы современные аппараты защиты от токов утечки, то в сетях постоянного тока иное положение.

К настоящему моменту предложено несколько методов выявления элемента с ослабленной изоляцией в сетях постоянного тока.

1. Метод, основанный на наложении на сеть гармонического сигнала низкой частоты и коротких синхронизированных импульсов.

2. Метод измерения фаз токов без подведения опорного напряжения.

3. Метод, основанный на наложении на сеть контрольного переменного тока, с последующим измерением фазы этого тока в контролируемых элементах.

Указанные методы характеризуются низкой помехоустойчивостью и сложностью реализации, а последний метод из-за необходимости, в процессе поиска поврежденного.

Разработана фазочувствительная схема контроля, основанная на использовании наложенного на сеть гармонического сигнала повышенной частоты, дальнейшей его фильтрации в активном полосовом фильтре и детектировании.

На рисунке 1 представлена имитационная модель предлагаемой схемы контроля, выполненная в пакете прикладной программы схематического моделирования Electronics Workbench [2].

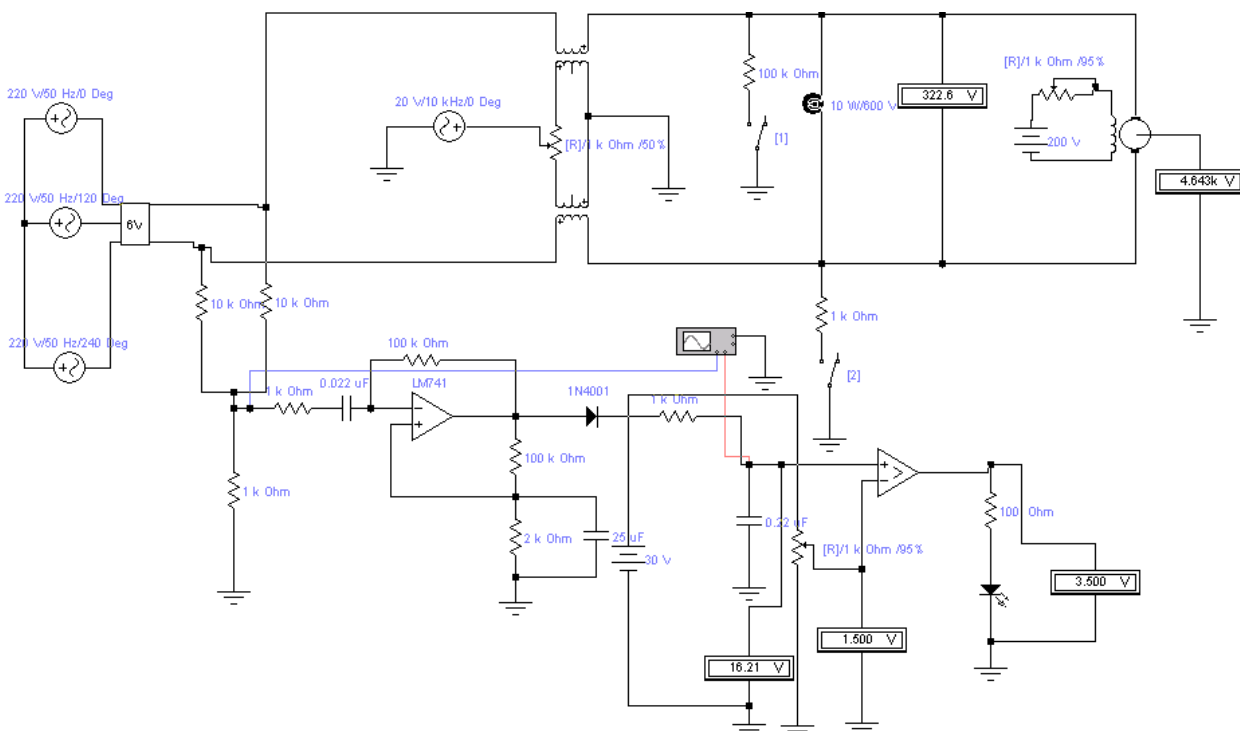


Рисунок 1 – Имитационная модель схемы контроля утечки тока в сети постоянного тока

Схема контроля утечки тока в сети постоянного тока состоит из трех генераторов синусоидального напряжения, трехфазного выпрямителя с подключенной к нему нагрузкой и защищается цепью питания якоря.

Контроль за утечкой тока осуществляется схемой, состоящей из генератора непромышленной частоты (ГНЧ)  $f = 10\text{кГц}$ , подключенного к фазам контролируемой сети, делителя напряжения,

присоединенного к двум полюсам выпрямителя, далее сигнал проходит через активный полосовой фильтр, где выделяется сигнал на частоте наложенного напряжения.

Выходной сигнал фильтра выпрямляется пиковым детектором, состоящим из диода и конденсатора и сравнивается с помощью компаратора с заданным допустимым уровнем утечки.

При превышении уровня сигнала утечки происходит срабатывание компаратора. Индикация утечки выполняется с помощью светодиодного индикатора, подключенного к выходу компаратора. Моделирование утечек тока осуществляется с помощью резисторов, присоединяемых к одной из фаз сети постоянного тока  $R_{ym} = 100 \text{ кОм}$ ,  $R_{ym} = 1 \text{ кОм}$ .

На рисунке 2а представлена осциллограмма выделенного сигнала утечки после прохождение активного фильтра и пикового детектора при  $R_{ym} = 100 \text{ кОм}$ , из которой видно, что напряжение снимаемого сигнала с пикового детектора мало  $U = 3\text{В}$ , этого уровня достаточно для начала снижения сопротивления изоляции. На рисунке 2б показана осциллограмма выделенного сигнала при  $R_{ym} = 1 \text{ кОм}$ , в этом случае амплитуда сигнала возрастает до  $U = 13\text{В}$ .

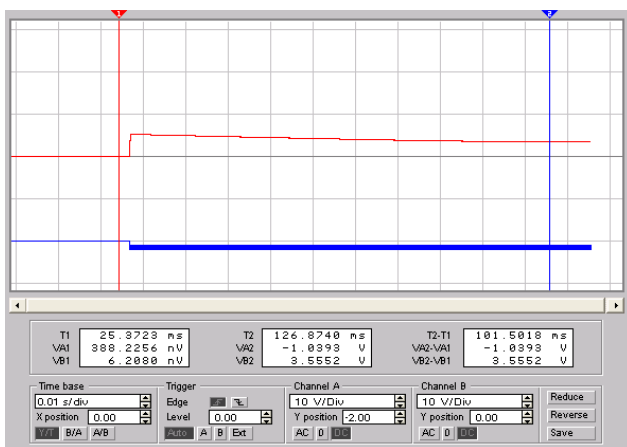
Предложенные технические решения обладают следующими особенностями.

1. В схеме контроля используется ГНЧ на частоту  $f = 10 \text{ кГц}$ , что приводит к увеличению ее быстродействия.

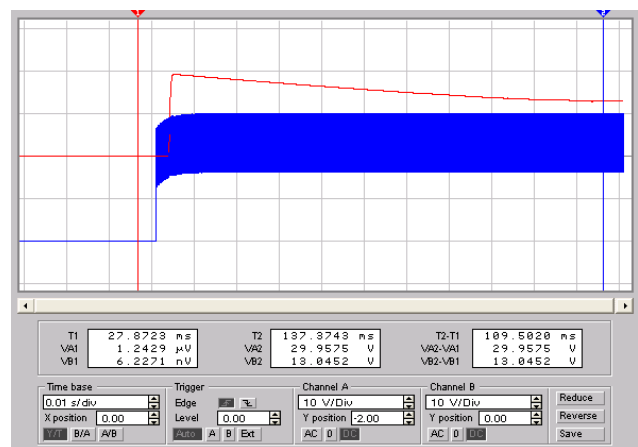
2. Измерение напряжения в цепях утечки осуществляется относительно земли, что упрощает обработку сигналов утечки тока, содержащих оперативное напряжение непромышленной частоты, которое затем детектируется.

3. Надежность схемы контроля.

В процессе проведения имитационных экспериментов установлено, что собственное время срабатывания при превышении током утечки допустимого значения не превышает  $0.01\text{с}$ , а схема обладает высокой помехоустойчивостью. Известно, что собственное время срабатывания выпускаемых аппаратов утечки достигает  $0.1\text{с}$ .



а) при утечке  $R_y = 100 \text{ кОм}$



б) при утечке  $R_y = 1 \text{ кОм}$

Рисунок 2 – Осциллограмма выпрямленного сигнала утечки

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цапенко Е.Ф., Мирский М.И., Сухарев О.В. Горная электротехника /Под ред. Цапенко Е.Ф.: учебник для техникумов. М.: Недра, 1986. 431 с.
2. Карлашук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение: научное издание / В.И. Карлашук. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Солон – Р, 2001.

УДК 621.9-529

СИХИМБАЕВ М.Р.

### Автоматическое управление точностью обработки отверстий

Применение системы автоматического управления позволяет управлять точностью формы поперечного сечения отверстия, то есть параметром, для управления которым у серийно изготавливаемых станков нет иных средств, кроме геометрической точности станка, обеспечиваемой в процессе изготовления металлорежущих станков. Система предназначена для обработки растачиванием однолезвийным инструментом на металлообрабатывающих станках, например на станках с ЧПУ мод. 16K20T1-01 (токарной группы). Назначением данной системы является повышение технологических возможностей оборудования по

обеспечению точности обработки в сравнении с точностью, регламентированной стандартами для данного вида оборудования.

Необходимо отметить, что даже при очень высокой геометрической точности современного оборудования для достижения высокой точности формы и расположения растачиваемых отверстий требуется высокая точность предварительно обработанных отверстий. Это условие является следствием наличия в технологической системе доминирующей колебательной системы – борштанги, являющейся звеном с малой жесткостью. Увеличению жесткости этого звена препятствуют объективные

причины со стороны габаритов обрабатываемых отверстий. За счет существенного снижения отклонения от круглости, а также уменьшения отклонения расположения можно расширить область применения растачивания на случай, когда по эксплуатационным соображениям этот метод обработки допускается как окончательный.

Кроме того, применение системы также оправданно снижением трудоемкости обработки, поскольку уменьшение коэффициента уточнения  $k_y$  позволяет, при прочих равных условиях, уменьшить количество рабочих ходов и добиться соответствия требованиям к точности обработки, автоматическое управление ведет к общему повышению эффективности использования оборудования рассматриваемого типа [1,2]. Повышение эффективности использования оборудования обусловлено, в частности, возможностью расширения номенклатуры инструментов в магазине станка для оперативного применения. Величина коэффициента уточнения  $k_y$  зависит от целого ряда факторов, основными из которых являются: жесткость технологической системы, режим резания, механические свойства материала. Эти факторы, имеющие значительные диапазоны изменения, приводят к тому, что коэффициент уменьшения погрешностей изменяется в широких пределах. Так, при полуставном растачивании отверстий на станке с ЧПУ мод. 16K20T1-01 коэффициент  $k_y$  колеблется от 0,08 до 0,01. В связи с этим решение задачи о числе и условиях выполнения переходов становится многовариантным.

Для использования системы автоматического управления с целью стабилизации формообразующей вершины резца (система) необходимо осуществить предварительную ее регулировку (настройку инструмента на выполняемый размер). При регулировке системы в статике необходимо проверить баланс мостовой схемы датчика положения инструмента и баланс мостовой схемы датчика положения управляемой платформы относительно неподвижной части устройства. Процесс настройки заканчивается при достижении времени регулирования  $t_{pez} = 0,0012$  с.

Вместо статистических характеристик точности отдельных переходов обработки используются расчетные величины допусков  $T_i$ , и, соответственно, вместо фактических коэффициентов уменьшения погрешностей используют их расчетные значения. В качестве расчетных характеристик точности отдельных переходов принимают допуски  $T_i$ , соответствующие достигаемой точности при данном методе обработки. После выбора маршрута обработки из множества вариантов выбираются условия выполнения отдельных переходов по различным критериям. Так, на черновых переходах критерием для назначения условий обработки является максимальная производительность обработки, а для окончательной обработки – точность обрабатываемой детали.

При растачивании отверстий на станках с ЧПУ основными ограничениями являются: устойчивость

процесса резания, величина микронеровностей обрабатываемой поверхности и заданный период стойкости инструмента. Обеспечение устойчивости процесса резания является важным условием нормального функционирования технологической системы.

Исследования параметров технологической системы при растачивании отверстий показали, что звеном наименьшей жесткости является расточная оправка (борштанга) и при оценке устойчивости технологической системы можно производить оценку устойчивости, рассматривая только движение расточной оправки [3]:

$$\frac{K_p \cdot M \cdot S \cdot t}{\eta^2 \cdot S \cdot \sin \varphi + C \cdot \eta \cdot \sin \varphi + \eta \cdot M \cdot V} \leq 1, \quad (1)$$

где  $K_p$  – сила резания, приходящаяся на единицу площади срезаемого слоя;  
 $S, V, t$  – режимы резания;  
 $\eta, C$  – коэффициенты демпфирования и жесткости;  
 $M$  – масса упругой системы;  
 $\varphi$  – главный угол в плане резца.

Указанные ограничения относятся к обработке растачиванием без применения системы, а при ее использовании устойчивость технологической системы повышается. Это достигается вследствие того, что при растачивании частота колебаний возмущающей силы, обусловленная погрешностями заготовки, ниже полосы пропускания частот устройства, при которых эффективно обрабатывается управляющее воздействие.

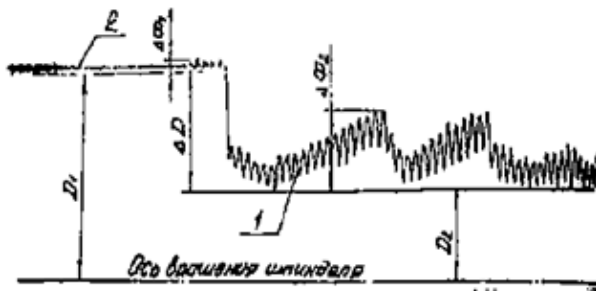
Для объективной оценки точностных характеристик процесса растачивания использовались методы математической статистики. Поскольку обеспечение идентичных погрешностей формы в поперечном сечении отверстий в партии деталей затруднительно, исследовалась лишь погрешность расположения деталей, обработанных без системы управления и с ее применением.

Производилась обработка партии заготовок (растачивание) с общим количеством отверстий 60 штук, при этом режимы обработки были следующие: скорость резания  $V = 1,64$  м/с, подача  $S = 0,12$  мм/об, глубина резания  $t = 0,4$  мм. Начальное позиционное отклонение отверстия задавалось равным 0,1 мм с целью выявления степени эффективности повышения точности обработки с использованием данной системы.

За один рабочий ход инструмента часть отверстия растачивалась с включенной системой, затем система автоматического управления выключалась и обрабатывалась оставшаяся часть отверстия. Колебания формообразующей вершины резца показаны на рисунке.

Анализ полученных результатов (см. таблицу) показывает, что математическое ожидание отклонения расположения при обработке с системой уменьшается с 0,024 мм до 0,007мм, т.е. в 3,4 раза, среднее квадратическое отклонение – с 0,137005мм до 0,004776 мм, т.е. в 2,87 раза.





1 – с отключенной системой; 2 – с включенной системой

Траектория движения вершины резца за один рабочий ход заготовки

Следует отметить, что начальная задаваемая погрешность в 0,1 мм вообще является достаточно большой. Управляемые перемещения, обусловленные характеристиками пьезодвигателя, находятся в преде-

лах 0–30 мкм, поэтому на предшествующем переходе необходимо обеспечивать позиционное отклонение оси отверстия не более 0,05 мм.

Результаты статистических исследований отклонений расположения отверстий

Параметр	Обработка без системы	Обработка с системой
Математическое ожидание	0,024 мм	0,007 мм
$X_{min}$	0,01 мм	0,01 мм
$X_{max}$	0,044 мм	0,021 мм
Размах	0,043 мм	0,020 мм
Дисперсия	0,000188мм	0,000029 мм
Среднее квадратическое отклонение	0,013705 мм	0,004776мм

При работе с системой наибольшее отклонение равно 0,021 мм (95 обработанных отверстий из 100 (95%) имеют отклонение в пределах 0,01-0,014 мм). Результаты по точности расположения поверхности без использования системы автоматического управления значительно хуже (55 обработанных отверстий (55%) имеют отклонение 0,030мм-0,044мм).

## В память об Ученом и Учителе – Акимбекове Азимбеке Кыздарбековиче



**15** октября 2010 года скоропостижно скончался профессор, доктор технических наук, директор ДГП «КазНИИБГП» Акимбеков Азимбек Кыздарбекович. Он ушел от нас, но на разных кафедрах Университета продолжают работу его ученики, которым он был научным руководителем и научным консультантом.

Азимбек Кыздарбекович внес большой вклад в развитие направлений науки, связанных с газовой динамикой, предупреждением и прогнозированием чрезвычайных ситуаций. Он подготовил 5 докторов наук и свыше 20 кандидатов. Его выпускники последних лет трудятся во всех сферах производства в разных регионах Казахстана – Астане, Алматы, Кокчетаве, Павлодаре, Жезказгане и многих других городах.

А.К. Акимбеков родился 10 октября 1954 года в г. Караганде.

В 1971 году поступил в Карагандинский политехнический институт (КарПТИ), а в 1977 г. окончил с отличием горный факультет по специальности «Технология и комплексная механизация подземной разработки месторождений

полезных ископаемых», получив квалификацию горного инженера.

После окончания института по распределению был направлен в проектный институт «Карагандагипрошахт», где работал в качестве инженера горного отдела до 1979 года. В 1979 году был принят стажером-исследователем кафедры «Рудничная аэрология» КарПТИ.

В 1981-1984 гг. учился в очной аспирантуре КарПТИ. В 1984 году защитил кандидатскую диссертацию в ИГД АН КазССР. В 1985-1988 гг. работал в системе Минуглепрома СССР главным технологом шахт «Актасская», «Стахановская» ПО «Карагандауголь», старшим научным сотрудником Карагандинского отделения ВостНИИ. В конце 1988 года перешел работать в КарПТИ старшим научным сотрудником, ведущим научным сотрудником.

С 1991 по 1993 годы работал старшим преподавателем кафедры «Рудничная аэрология и охрана труда». В 1993 году был избран доцентом кафедры. С 1995 по 2001 годы работал заведующим кафедрой РАиОТ. В 1996 году защитил в ИГД им. Д.А.Кунаева НАН РК докторскую диссертацию. В 2001 году ВАК РК присвоил ему ученое звание профессора.

В 2001-2008 гг. – проректор по научной работе и международным связям Карагандинского государственного технического университета (КарГТУ).

С мая 2009 года до настоящего времени являлся директором ДГП «КазНИИБГП».

С 2008 года Азимбек Кыздарбекович был инициатором создания и председателем правления «Ассоциации специалистов «За безопасные жизнь и труд».

Азимбек Кыздарбекович награжден знаком «Отличник образования Республики Казахстан» (1997 год), знаком «Почетный работник образования Республики Казахстан» (2003 год), юбилейной медалью «10 лет Конституции Казахстана» (2005 год), знаком «За заслуги в развитии науки в Республике Казахстан» (2006 год).

Его профессионализм, оперативность, принципиальность, высокая культура общения с людьми снискали глубокое уважение коллектива.

Память об Акимбекове Азимбеке Кыздарбековиче навсегда останется в наших сердцах.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Корсаков В.С. Точность механической обработки. М.: Изд-во «Машгиз», 1961. 379 с.
2. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. М.: Машиностроение, 1977. 304 с.
3. Попов В.И., Локтев В.И. Динамика станков. Киев.: Техника, 1989. 388 с.

## РЕЗЮМЕ

УДК 621.756.03. СУЙОНДИКОВ М.М. **Гидравлические показатели процесса фильтрации металлических расплавов.**

Рассмотрены данные литературных источников и сравнительные результаты собственных исследований гидравлических показателей процесса фильтрации металлических расплавов. Экспериментальное исследование четырех групп из семи фильтров показало, что все используемые фильтры вызывают потери напора пропорционально скорости фильтрации в степени, довольно близкой к двум. Это позволяет рассматривать фильтры как местное сопротивление. Данные о местном сопротивлении упрощают расчеты литниковых систем с фильтром. В результате исследований фильтров показано, что недопустим прямой, без корректировки, перенос литературных данных на процесс фильтрации металлов в литниковой системе в производстве отливок. Это продиктовано также тем, что полученная гидравлическая характеристика их сильно отличается друг от друга.

УДК 669.168. МУХАМБЕТГАЛИЕВ Е.К., БАЙСАНОВ С.О., ЧЕКИМБАЕВ А.Ф., БАЙСАНОВ А.С. **Возможность и перспективы получения нового комплексного ферросплава – алюмосиликомарганца.**

Приводятся результаты разработки технологии получения нового комплексного сплава – алюмосиликомарганца. Для выплавки сплава были вовлечены некондиционные высококремнеземистые марганцевые руды месторождения «Западный Камыс». В качестве восстановителя и основного источника кремния и алюминия были использованы высокозольные угли Карагандинского бассейна. В результате проведения крупнолабораторных плавок получен качественный и абсолютно не подверженный к распылению сплав. С вовлечением высококремнеземистых некондиционных марганцевых руд решается вопрос использования их без операции обогащения в металлургическом переделе, что даст дополнительные ресурсы в производстве комплексных ферросплавов.

УДК 536.722:669.168. САЛИНА В.А., БАЙСАНОВ С.О., БАЙСАНОВ А.С., ШАБАНОВ Е.Ж. **Расчёт термодинамических данных соединений  $BaSi_2$ ,  $Mn_{11}Si_{19}$ ,  $Fe_2Si$  в системе Ba-Si-Mn-Fe для прогнозирования процесса получения силикомарганца, легированного барием.**

На основе полуэмпирических методов расчёта термодинамических характеристик веществ определена термодинамическая константа – энтальпия образования неорганических соединений  $BaSi_2$ ,  $Mn_{11}Si_{19}$ ,  $Fe_2Si$ . На основе термодинамически-диаграммного анализа с применением ПК «Gibbs» построена диаграмма фазового состава системы Ba-Si-Mn-Fe в расплавленном состоянии с применением рассчитанных значений энтальпии соединений  $BaSi_2$ ,  $Mn_{11}Si_{19}$ ,  $Fe_2Si$ . Термодинамически-диаграммный анализ базируется на изучении фазовых закономерностей сложных систем с учётом особенностей диаграмм состояния системы. ПК «Gibbs» позволяет определить изменение энтальпии, энтропии, теплоёмкости, энергии Гиббса реакции в гомогенно-жидкофазном состоянии при различных температурах с учётом всех фазовых переходов для всех

ЭЖ 621.756.03. СУЙОНДИКОВ М.М. **Металл балқытпаларын сүзгілеу процесінің гидравликалық көрсеткіштері.**

Әдебиет көздерінің деректері және металл балқытпаларды сүзгілеу процесінің гидравликалық көрсеткіштерін меншікті зерттеудің салыстырмалы нәтижелері қарастырылған. Жеті сүзгіден үш топты эксперименттік зерттеу барлық пайдаланылатын сүзгілердің екіге тым жақын дәрежеде сүзгілеу жылдамдығына пропорционал қысымның жұмсалуын тудырады. Бұл сүзгілерді жергілікті кедергі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Жергілікті кедергі туралы деректер сүзгісі бар құю жолы жүйелерін есептеуді ықшамдайды. Сүзгілерді зерттеу нәтижесінде құймаларды өндірудегі құю жолы жүйесінде металлдарды сүзгілеу процесіне әдебиет деректерін тікелей түзетусіз асымалдаудың мүмкін еместігі көрсетілген. Бұл сондай-ақ олардың алынған гидравликалық сипаттамасының бір-бірінен қатты ерекшеленуімен ұсынылған.

ЭЖ 669.168. МҰХАМБЕТҚАЛИЕВ Е.К., БАЙСАНОВ С.О., ЧЕКИМБАЕВ А.Ф., БАЙСАНОВ А.С. **Жаңа кешенді алюмосиликомарганец ферроқорытпасын алу мүмкіндігі мен перспективалары.**

Жаңа кешенді қорытпа – алюмосиликомарганецті алу технологиясын әзірлеу нәтижелері келтіріледі. Қорытпаны қорыту үшін «Западный Камыс» кен орнының кондициялық емес жоғары кремнеземді марганец рудалары қатыстырылды. Тотықсыздандырғыш және кремний мен алюминийдің негізгі көзі ретінде Қарағанды бассейнінің жоғары күлді көмірі пайдаланылды. Ірі зертханалық балқыту нәтижесінде сапалы және мүлде шашыратылмайтын қорытпа алынған. Жоғары кремнеземді кондициялық емес марганец рудаларын қатыстыру арқылы оларды металлургиялық қайта балқытуды байыту операцияларынсыз пайдалану мәселесі шешіледі, бұл кешенді ферроқорытпалар өндірісінде қосымша ресурстар береді.

ЭЖ 536.722:669.168. САЛИНА В.А., БАЙСАНОВ С.О., БАЙСАНОВ А.С., ШАБАНОВ Е.Ж. **Бариймен қоспаланған силикомарганецті алу процесін болжау үшін Ba-Si-Mn-Fe жүйесіндегі  $BaSi_2$ ,  $Mn_{11}Si_{19}$ ,  $Fe_2Si$  қосылыстарының термодинамикалық деректерін есептеу.**

Заттардың термодинамикалық сипаттамаларын есептеудің жартылай эмпирикалық әдістері негізінде термодинамикалық константа –  $BaSi_2$ ,  $Mn_{11}Si_{19}$ ,  $Fe_2Si$  органикалық емес қосылыстарының түзілу энтальпиясы анықталған. «Gibbs» ПК қолдану арқылы термодинамика-диаграммалық талдау негізінде  $BaSi_2$ ,  $Mn_{11}Si_{19}$ ,  $Fe_2Si$  қосылыстары энтальпиясының есептелген мәндерін қолдану арқылы балқытылған күйдегі Ba-Si-Mn-Fe жүйесінің фазалық құрамының диаграммасы салынған. Термодинамика-диаграммалық талдау жүйе күйі диаграммаларының ерекшеліктерін есепке алғанда күрделі жүйелердің фазалық заңдылықтарын зерделеуге негізделеді. «Gibbs» ПК жүйелердің барлық компоненттері үшін барлық фазалық әрекеттерді есепке алғанда температура әр түрлі болғанда гомогенді-сұйық фазалы күйде энтальпияның, энтропияның, жылу сыйымдылығының, Гиббс энергиясының өзгерісін анықтауға және

UDC 621.756.03. SUYUNDIKOV M.M. **Hydraulic Indicators of Metal Melts Filtering Process.**

There are considered the data of literature and comparative results of own studying hydraulic indicators of metal melts filtering processes. The experimental studying of four groups out of seven filters showed that all the filters used cause the head loss proportional to the filtering speed in the extent rather close to two. This permits to consider the filters to be a local resistance. The data of the local resistance simplify the calculating of the gate systems with a filter. As a result of the studies there was shown that it is not admissible to transfer directly, without corrections, the literature data to the process of metals filtering in the gate system in castings production. This is also dictated by the fact that their hydraulic characteristic obtained differs from one another.

UDC 669.168. MUKHAMBETGALIYEV E.K., BAISANOV S.O., CHEKIMBAYEV A.F., BAISANOV A.S. **Possibility and Prospects of Obtaining New Complex Ferroalloy of Alumosilicomanganese.**

There are presented the results of developing a technology of obtaining a new complex alloy – alumosilicomanganese. To melt the alloy there were used non-condition high-silica manganese ores of "Zapadny Kamys" deposit. As the reducing agent and the main source of silicon and aluminum there were used high-ash coals of the Karaganda coal basin. As a result of carrying out large laboratory melts, there was obtained a quality and non-subjected to scattering alloy. Using high-silica manganese ores will help to solve the problem of their use without concentration operation in the metallurgical process which will give additional resources in complex ferroalloys production.

UDC 536.722:669.168. SALINA V.A., BAISANOV S.O., BAISANOV A.S., SHABANOV E.Zh. **Calculating Thermo-Dynamical Data of Compounds  $BaSi_2$ ,  $Mn_{11}Si_{19}$ ,  $Fe_2Si$  in Ba-Si-Mn-Fe System to Forecast Barium-Alloyed Silicomanganese Obtaining Process.**

Based on half-empiric methods of matter thermo-dynamic characteristics calculation there has been determined a thermo-dynamic constant – enthalpy of forming inorganic compounds  $BaSi_2$ ,  $Mn_{11}Si_{19}$ ,  $Fe_2Si$ . Based on thermo-dynamic diagram analysis using PC "Gibbs" there has been built a phase composition diagram of Ba-Si-Mn-Fe system in melted state using the calculated values of enthalpy for  $BaSi_2$ ,  $Mn_{11}Si_{19}$ ,  $Fe_2Si$ . Thermo-dynamic diagram analysis is based on studying phase laws of complicated systems taking into account the system state diagrams characteristics. PC "Gibbs" permits to determine changing enthalpy, entropy, heat capacity, Gibbs energy of the reaction in homogeneous liquid-phase state at different temperatures taking into account all the phase transitions for all the system components, and to calculate the reaction balance constant. The diagram built consists of 6 quasi-systems: Ba-Fe-BaSi<sub>2</sub>-Mn, Ma-Fe-Mn<sub>11</sub>Si<sub>19</sub>-BaSi<sub>2</sub>, Fe-BaSi<sub>2</sub>-Mn<sub>11</sub>Si<sub>19</sub>, Fe<sub>2</sub>Si-

компонентов систем и вычислить константу равновесия реакции. Построенная диаграмма фазового строения системы Ba-Si-Mn-Fe состоит из 6 квазисистем: Ba-Fe-BaSi<sub>2</sub>-Mn, Mn-Fe-Mn<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>-BaSi<sub>2</sub>, Fe-BaSi<sub>2</sub>-Mn<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>-Fe, Si, Fe, Si-Mn<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>-MnSi-BaSi<sub>2</sub>, Fe, Si-BaSi<sub>2</sub>-MnSi-FeSi, FeSi-BaSi<sub>2</sub>-MnSi-Si. Состав прогнозируемого сплава расположен в подсистеме BaSi<sub>2</sub>-Mn<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>-Si-FeSi. Система Ba-Si-Mn-Fe построена впервые и является важнейшей для металлургических процессов в области производства ферросплавов.

УДК 66.018.8:67.04. ИСАГУЛОВ А.З., ШАРАЯ О.А., САДВАКАСОВ А.М. **Механизмы релаксационных процессов в стеклопластках.**

На сегодняшний день недостаточно изучены структурные превращения и релаксационные явления в высокоармированных шитых полимерах. Они отличаются от систем, наполненных дисперсными наполнителями, значительной анизотропией структуры и свойств. Связи между сложными структурами армированной полимерной системы изучены не полностью, в связи с этим в них не установлены различные механизмы внутреннего трения. Эти параметры лежат в основе таких эксплуатационных свойств, как вибростойкость, трещиностойкость, статическая, динамическая усталость и ударопрочность. Поэтому в работе проведено систематическое исследование явлений механической релаксации в армированных эпоксидных полимерах. Исследованы динамические вязкопругие свойства полимерных материалов. Определена зависимость между динамическим модулем упругости стеклопластиков в высокоэластическом состоянии и максимальным значением величины механических потерь.

УДК 621.9.04. СИХИМБАЕВ М.Р. **Управление точностью формы и расположения отверстий с учетом текущего радиуса обработки.**

Предлагается исследование устройства для управления точностью при растачивании отверстий. При этом конструкция устройства включает несколько независимых расточных оправок, которые учитывают изменение текущего радиуса обрабатываемой поверхности при растачивании. Предлагаемое устройство позволяет уменьшить погрешность формы растачиваемых отверстий, учесть влияние текущего радиуса обрабатываемой поверхности на точность обработки. В конечном итоге применение данного устройства позволяет совместить несколько технологических переходов в один. Преимуществом использования предлагаемого устройства – в повышении производительности обработки и качества обрабатываемых отверстий.

УДК 621.771.23. НАЙЗАБЕКОВ А.Б., ТАЛМАЗАН В.А., КЛЕМЕНТЬЕВ В.А., АХМЕТГАЛИНА Н.В. **Исследование надёжности оборудования НШПС-1700.** Проведено исследование надёжности механического оборудования НШПС-1700 при прокатке непрерывно-литых слэбов. Выполнена статистическая обработка данных об отказах его работ. Рассчитана средняя наработка на отказ оборудования стана. Составлены статистические ряды наработки на отказ и построены гистограммы. На основе статистических рядов и гистограмм определены законы распределения вероятности безотказной работы оборудования НШПС-1700. Рассчитана вероятность безотказной работы оборудования для десятилетнего межремонтного периода. Результаты

реакция теплестойкости константасын есептеуге мүмкіндік береді. Ba-Si-Mn-Fe жүйесінің фазалық құрылысының салынған диаграммасы 6 квазижүйеден: Ba-Fe-BaSi<sub>2</sub>-Mn, Mn-Fe-Mn<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>-BaSi<sub>2</sub>, Fe-BaSi<sub>2</sub>-Mn<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>-Fe, Si, Fe, Si-Mn<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>-MnSi-BaSi<sub>2</sub>, Fe, Si-BaSi<sub>2</sub>-MnSi-FeSi, FeSi-BaSi<sub>2</sub>-MnSi-Si тұрады. Болжанатын қорытпаның құрамы BaSi<sub>2</sub>-Mn<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>-Si-FeSi, бағыныңқы жүйесінде орналасқан. Ba-Si-Mn-Fe жүйесі алғаш рет құрылған және ферроқорытпалар өндіру саласындағы металлургиялық процестер үшін маңызды болып табылады.

ӨЖ 66.018.8:67.04. ИСАГУЛОВ А.З., ШАРАЯ О.А., САДВАКАСОВ А.М. **Шыны пластиктердегі релаксациялық процестер механиздері.**

Бүгінгі күні жоғары бекемдетілген тігілген полимерлердегі құрылымдық түрленулер және релаксациялық құбылыстар жеткіліксіз зертделген. Олар дисперстік толтырылған армен толтырылған жүйелерден құрылымы мен қасиеттерінің едәуір анизотропиясымен ерекшеленеді. Бекемдетілген полимер жүйенің күрделі құрылымдары арасындағы байланыстар толығымен зертделбеген, осыған байланысты оларда ішкі үйкелістің әртүрлі механизмдері анықталмаған. Бұл параметрлер дәлірек тәзімділік, статикалық, динамикалық қажу және соққыға беріктік сияқты пайдаланылу қасиеттерінің негізінде жатыр. Сондықтан жұмыста бекемдетілген эпоксидті полимерлердегі механикалық релаксация құбылыстарын жүйелі зерттеу жүргізілген. Полимер материалдардың динамикалық серпінді-тұтқыр қасиеттері зерттелген. Жоғары илемді күйдегі шыны пластиктер серпінділігінің динамикалық модулі және механикалық шығындар шамасының максимум мәні арасындағы тәуелділік анықталған.

ӨЖ 621.9.04. СИҚЫМБАЕВ М.Р. **Өңдеудің ағымдағы радиусын есепке алғанда тесіктердің пішіні мен орналасуының дәлдігін басқару.**

Тесіктерді кеулей жону кезінде дәлдікті басқару үшін құрылғыны зерттеу ұсынылады. Сонымен бірге құрылғы конструкциясына бірнеше тәуелсіз кеулей жонатын құрал білікті еркіреді, олар кеулей жону кезінде өңделетін беттің ағымдағы радиусының өзгеруін есепке алады. Ұсынылатын құрылғы кеулей жонатын тесіктер пішінінің қателігін азайтуға, өңделетін беттің ағымдағы радиусының өңдеу дәлдігіне әсерін есепке алуға мүмкіндік береді. Ақырында берілген құрылғыны қолдану бірнеше технологиялық әрекетті бір әрекетке қатар қолдануға мүмкіндік береді. Ұсынылатын құрылғыны пайдаланудың артықшылығы – өңдеу өнімділігінің және өңделетін тесіктер сапасының жоғарылауында.

ӨЖ 621.771.23. НАЙЗАБЕКОВ А.Б., ТАЛМАЗАН В.А., КЛЕМЕНТЬЕВ В.А., АХМЕТГАЛИНА Н.В. **НШПС-1700 жабдығының сенімділігін зерттеу.**

Үздіксіз-құйма слэбтарды илемдеу кезінде НШПС-1700 механикалық жабдығының сенімділігі зерттелген. Оның жұмысының тоқтауы туралы деректерді статистикалық өңдеу орындалған. Орнақ жабдығының істен шығуына орташа жұмыс істеу есептелген. Істен шығуға жұмыс істеудің статистикалық қатпарлары құрылған және гистограммалар салынған. Статистикалық қатпарлар мен гистограммалар негізінде НШПС-1700 жабдығының істен шықпай жұмыс істеу ықтималдығын үлестіру заңдылықтары анықталған. Жөндеу арасындағы он тәуліктік кезең үшін жабдықтың істен шықпай жұмыс істеу ықтималдығы есептелген. Зерттеу

Mn<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>-MnSi-BaSi<sub>2</sub>, Fe, Si-BaSi<sub>2</sub>-MnSi-FeSi, FeSi-BaSi<sub>2</sub>-MnSi-Si. The composition of the melt predicted is located in the subsystem BaSi<sub>2</sub>-Mn<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>-Si-FeSi. Ba-Si-Mn-Fe system is built for the first time and is the most for metallurgical processes in the field of manufacturing ferroalloys.

UDC 66.018.8:67.04. ISAGULOV A.Z., SHARAYA O.A., SADVAKASOV A.M. **Mechanisms of Relaxation Processes in Glass-Fibre Plastics.**

Today there are insignificantly studied structural transforms and relaxation phenomena in highly reinforced sewn polymers. They differ from the systems filled with disperse fillers, structure significant anisotropy and properties. The ties between complicated structures of the reinforced polymer system are studied on completely, in which connection in them there are not established various mechanisms of inner friction. These parameters are the base of such operation properties, as vibro-resistance, crack resistance, static, dynamic fatigue and impact resistance. That's why in the work there is carried out a systematic study of mechanical relaxation phenomena in reinforced epoxy-polymers. There are studied dynamic viscous-and-elastic properties of polymer materials. There is determined the dependence between the dynamic module of elasticity of glass-fibre plastics in highly elastic state and the maximum value of mechanical losses.

UDC 621.9.04. SIKHIMBAYEV M.R. **Controlling Holes Form and Location Accuracy Taking into Consideration Machining Current Radius.**

There is suggested studying a unit for controlling the accuracy when boring holes. Here the unit structure includes several independent boring arbors which take into account changing the current radius of the surface machined in boring. The unit suggested permits to decrease the bored holes form error, to account the current radius of the surface machined effect on the machining accuracy. Finally, this unit using permits to combine several technological transitions into one. The advantage of the suggested unit is in increasing the machining productivity and machined holes quality.

UDC 621.771.23. NAIZABEKOV A.B., TALMAZAN V.A., KLEMENTYEV V.A., AKHMETGALINA N.V. **Studying Reliability of NShPS-1700 Equipment.**

There has been carried out a study of the mechanical equipment NShPS-1700 when rolling uninterruptedly-cast slabs. There has been carried out a statistic processing of the data about its failures. There has been calculated a man-time between failures and built histograms. Based on statistic rows and histograms there have been defined the laws of probability distribution of NShPS-1700 working without failures. The results of the study can be used in predicting the equipment breakdowns, repair planning and costs for supporting it in the working state, defining the optimal period between repairs.

исследования можно использовать при прогнозировании поломок оборудования, планировании ремонтов и расходов на поддержание его в рабочем состоянии, определении оптимального межремонтного периода.

УДК 536.421. СУЛЕЙМЕНОВ Т., ИСАГУЛОВ А.З., КАСЫМОВА Л.Ж., ШАЙХОВА Г.С., АБИЛГАЗИН Б.И. **О характере корреляционных функций жидкостей.** Рассматриваются корреляционные функции аргона, жидкого рубидия. Методом молекулярной динамики вычислены временные корреляционные функции этих элементов. Представлены данные по проверке работоспособности программы методом молекулярной динамики. Молекулярно-динамические расчеты при постоянной плотности для сдвиговой вязкости вывели независимость ее от температуры в довольно широких диапазонах. Высокая точность получения коэффициента вязкости методом молекулярной динамики для аргона объясняется тем, что усредняемая часть потенциального давления определяется обратным расстоянием в шестой степени. Это приводит к медленному снижению давления. В расчетах временных корреляционных функций потока приходится иметь дело с усреднением величин основного вклада, имеющих двенадцатую степень обратного расстояния и поэтому очень быстро спадающих с ростом последнего.

УДК 622:621.962.74. ЖЕТЕСОВА Г.С., БУЗАУОВА Т.М. **Экспериментальные исследования износа эксцентрика.** Тяжелый и непрерывный процесс дробления руд вызывает износ рабочих поверхностей узлов, деталей и всей дробилки в целом. В результате износа изменяются размеры и геометрическая форма деталей. Рассмотрены факторы, влияющие на внешнее трение детали, которые и приводят к износу эксцентрика. По кинематическому признаку установлено направление и взаимное расположение трущихся частей. Выявлены задачи описания зависимости и интенсивности изнашивания от нагрузки  $P(x_1)$ , времени  $t(x_2)$ , диаметра образца  $D(x_3)$ . В качестве математической модели принята неполная кубическая функция. Произведена проверка однородности дисперсий с помощью различных статистических критериев Фишера, Кочрена.

УДК 338.45/5:622.3(574). НУРМУХАМЕТОВ Н.Н. **Классификация показателей конкурентоспособности продукции предприятий машиностроительной отрасли Республики Казахстан.** Рассмотрена классификация основных показателей определения конкурентоспособности продукции предприятий машиностроительной отрасли. Предлагаемый показатель конкурентоспособности и продукции – численный показатель, полученный агрегированием количественных значений показателей всех уровней с использованием аддитивно-мультипликативного метода – сложением показателей первого уровня, однородные качественные критерии второго и третьего уровней которых формируются в группы и количественные их значения. Способ агрегирования критериев на основе аддитивно-мультипликативного метода обладает достаточной гибкостью. Широкий набор критериев нового продукта для экспертных оценок позволяет учитывать все этапы жизненного цикла, имеет широкие возможности разработки адекватных математических моделей нового продукта и программных средств обработки экспертных

данных. Итоги исследований показывают, что при использовании предложенной методики можно выявить факторы, влияющие на износ деталей и узлов, что позволит оптимизировать процесс дробления руды.

ӨЖ 536.421. СУЛЕЙМЕНОВ Т., ИСАГУЛОВ А.З., КАСЫМОВА Л.Ж., ШАЙХОВА Г.С., АБИЛГАЗИН Б.И. **Сұйықтықтардың корреляциялық функцияларының сипаты туралы.**

Аргонның, сұйық рубидийдің корреляциялық функциялары қарастырылады. Молекулалық динамика әдісімен осы элементтердің уақытша корреляциялық функциялары есептелген. Молекулалық динамика әдісімен программаның жұмысқа қабілеттілігін тексеру бойынша деректер берілген. Ығысу тұтқырлығы үшін тұрақты тығыздық болғандағы молекула-динамикалық есептеулер оның аса кең диапазондағы температураға тәуелсіздігін шығарды. Аргон үшін тұтқырлық коэффициенттерін молекулалық динамика әдісімен алудың жоғары дәлдігі потенциалдық қысымның орташаланатын бөлігінің алтыншы дәрежедегі кері ара қашықтығымен анықталуымен түсіндіріледі. Бұл қысымның баяу төмендеуіне әкеледі. Ағынның уақытша корреляциялық функцияларын есептеуде кері ара қашықтықтың он екінші дәрежесі бар және соңдықтан соңғының өсуімен өте жылдам төмендейтін негізгі үлес шамаларының орташалануымен істес болуға тура келеді.

ӨЖ 622:621.962.74. ЖЕТЕСОВА Г.С., БУЗАУОВА Т.М. **Эксцентриктің тозуын эксперименттік зерттеу.**

Рудаларды ұсақтаудың ауыр және үздіксіз процесі ораптардың жұмыс беттерінің, тетіктердің және жалпы алғанда бүкіл уатқыштың жұмыс беттерінің тозуын тудырады. Тозу нәтижесінде тетіктердің өлшемдері және геометриялық пішіні өзгереді. Тетіктің сыртқы үйкелуіне әсер ететін, эксцентриктің тозуына әкелетін факторлар қарастырылған. Сондай-ақ кинематикалық белгі бойынша үйкелетін бөліктердің бағыты және өзара орналасуы анықталған. Тозу қарқындылығының жүктемеге  $P(x_1)$ , уақытқа  $t(x_2)$ , үлгі диаметріне  $D(x_3)$  тәуелділігін еріні сипаттау есептері айқындалған. Математикалық модель ретінде толық емес кубтық функция қабылданған. Фишердің, Кочреннің әр түрлі статистикалық критерийлерінің көмегімен дисперсиялардың біртектілігі тексерілген.

ӨЖ 338.45/5:622.3(574). НУРМУХАМЕТОВ Н.Н. **Қазақстан Республикасы машина жасау саласының кәсіпорындары өнімнің бәсекеге қабілеттілігі көрсеткіштерін жіктеу.**

Машина жасау саласының кәсіпорындары өнімнің бәсекеге қабілеттілігін анықтаудың негізгі көрсеткіштерін жіктеу қарастырылған. Өнімнің бәсекеге қабілеттілігінің ұсынылатын көрсеткіші – аддитивті-мультипликативтік әдісті пайдалану пайдалану арқылы барлық деңгейдегі көрсеткіштердің сандық мәндерін агрегаттаумен – екінші және үшінші деңгейдегі біртекті сапалы критерийлері топтарға және олардың сандық мәндеріне құрылатын, бірінші деңгейлі бәсекеге қабілеттілік көрсеткіштерін қосудан алынған сандық көрсеткіш. Аддитивті-мультипликативтік әдіс негізінде критерийлерді агрегаттау тәсілі айтарлықтай икемділікті иеленеді. Сараптық бағалауға арналған жаңа өнім критерийлерінің үлкен жинағы өмірлік циклдің барлық кезеңдерін есепке алуға мүмкіндік береді. Жаңа өнімнің барабар математикалық модельдерін және сараптық бағалауды өңдеудің программалық құралдарын әзірлеу мүмкіндіктері бар.

UDC 536.421. SULEIMENOV T., ISAGULOV A.Z., KASYMOVA L.Zh., SHAIKHOVA G.S., ABILGAZIN B.I. **About Liquids Correlation Functions Character.**

There are considered correlation functions of argon, liquid rubidium. By the method of molecular dynamics there are calculated the time correlation functions of these elements. There are presented the data for verifying the program workability by the method of molecular dynamics. Molecular-dynamic calculations at the constant density for shear viscosity gave its independence on temperature in rather wide ranges. High accuracy of obtaining viscosity factors by the method of molecular dynamics for argon is explained by the fact that the averaged part of potential pressure is determined by the reverse distance in the sixth degree. This leads to slow pressure decreasing. In the calculation of the time correlation functions we have to deal with averaging the main contribution values which have the twelfth degree of the reverse distance and which decrease very fast with the growth of the latter.

UDC 622:621.962.74. ZHETESOVA G.S., BAZAUOVA T.M. **Experimental Studying Cam Wear.**

The heavy and continuous process of ore bucking causes the wear of the working surfaces of units, parts and the whole bucket. As a result of wear there change the dimensions and geometrical form of the parts. There are considered the factors affecting the part outside friction which lead to the cam wear. By the kinematical sign there is established the direction and mutual locations of the parts in friction. There are revealed the problems of describing the wear dependence on load  $P(x_1)$ , time  $t(x_2)$  and the sample diameter  $D(x_3)$ . As a mathematical model there is taken an incomplete cubic function. There is carried out the verifying of dispersion homogeneity with the help of different statistical criteria of Fisher, Kochren.

UDC 338.45/5.:622.3 (574). NURMUKHMETOV N.N. **Classification of Production Competitiveness Indicators at Mechanical Engineering Enterprises of Republic of Kazakhstan.**

There is considered the classification of the main indicators to determine competitiveness of mechanical engineering branch production. The indicator suggested is a numerical indicator obtained by means of aggregating quantitative values of all levels indicators using an additive-multiplicative method: summing the indicators of the first level, homogeneous qualitative indicators of the second and the third levels of which are formed into groups and their quantitative values. The method of criteria aggregating based on the additive-multiplicative method is rather flexible. The wide range of criteria of a new product for expert valuations permits to account all the stages of its life. It has wide possibilities for developing adequate mathematical models of the new product and expert valuations processing software.

оценок.

УДК 622.831. ДЕМИН В.Ф., ИСАБЕК Т.К., ДЕМИНА Т.В., БАЙМУЛЬДИН М.М. **Разработка технологических схем проведения подготовительных выработок с анкерным креплением.**

Устойчивость выработок зависит от характера и вмещающих пород, дефектность – от вида и плотности крепления, места заложения выработок и их ориентации в массиве к действующим напряжениям. Разработаны прогрессивные технологические схемы проведения подготовительных выработок с анкерным креплением. Создан анкер с внутренним отверстием (или внешней насечкой); наращиваемый стальной анкер. Сформированы рабочие чертежи на регулируемый металлический подхват; соединительную муфту для анкерной крепи. Намечены сравнительные испытания предлагаемых средств. Сопоставимость производится с лучшими зарубежными образцами анкерного крепления в производственных условиях.

УДК 622.271. САБДЕНБЕКҮЛҮ О., ТАХАНОВ Д.К., ҚОЖАС А.К., ЖУНУСОВА Г.Е., КАПАСОВА А.З. **Определение бокового давления на потолочный целик при отработке крутопадающих залежей.**

Приведена методика определения нагрузки на потолочный целик при отработке крутопадающих залежей с учетом напряженного состояния приконтурного массива. Рассмотрены вопросы проявления горного давления вокруг выработанных пространств. Установлено, что сила, разрушающая целики, обусловлена породным массивом висячего бока. Изучено напряженно-деформированное состояние образцов при одноосном сжатии. Определена зона деформации, образованная под воздействием бокового давления. Определение границ зон деформации осуществляется по методу БАБО, на основе паспортной прочности, построенных отдельно для каждого типа горных пород. Обоснована методика определения зоны распространения процессов, протекающих в массиве в зависимости от горно-геологических условий месторождения и изменения коэффициента бокового давления.

УДК 622.831.325.2. ГАЛЕМСКИЙ П.В., КАНИН В.А. **Применение десорбметрии при контроле эффективности защитного действия.**

Проведены экспериментальные исследования интенсивности десорбции газа из угля с целью контроля эффективности опережающей отработки угольного пласта. Определены требования к методике измерений и десорбметрии. Установлена закономерность роста давления газа в закрытом объеме прибора, что позволило разработать методику контроля его герметичности по результатам измерений. Предложен статистически обоснованный метод контроля эффективности защитного действия. Получены качественные характеристики интенсивности десорбции в логарифмических координатах. Разработан метод контроля герметичности и приборов.

УДК 622.537.8: 550.42: 533.6. КАНИН В.А., ТАРАНИК А.А., БРЮМ В.З. **Геохимический подход к проблеме прогнозирования аварийных ситуаций по газовому фактору.**

Произведен анализ роста аварийных ситуаций на угольных шахтах Украины. Проанализированы состояние и тенденции к повышению уровня травматизма. Обосновано

ЭОЖ 622.831. ДЕМИН В.Ф., ИСАБЕК Т.К., ДЕМИНА Т.В., БАЙМУЛЬДИН М.М. **Анкерлік бекітпесі бар дайындау қазбаларын жүргізудің прогрессті технологиялық сұлбаларын әзірлеу.**

Қазбалардың орнықтылығы – сыйыстырушы тау жыныстарының сипаттамасына, ақаулығы бекітпенің түріне және тығыздығына, қазбалар жатысының орнына және олардың массивте қолданыстағы кернеулерге бағдарлануына байланысты болады. Анкерлік бекітпесі бар дайындау қазбаларын жүргізудің прогрессті технологиялық сұлбалары әзірленген. Ішкі тесігі (немесе сыртқы кертпесі) бар анкер; ұлғайтылатын болат анкер құрылған. Реттелетін металл қапсырымға; анкер бекітпесіне арналған жалғастырғыш муфтаға жұмыс сызбалары құрылған. Ұсынылатын құралдарды салыстырмалы сынау көзделген. Өндірістік жағдайларда анкерлік бекітпенің үздік шетелдік үлгілерімен салыстырылады.

ЭОЖ 622.271. СӘБДЕНБЕКҮЛҮ Ө., ТАХАНОВ Д.К., ҚОЖАС А.К., ЖУНУСОВА Г.Е., КАПАСОВА А.З. **Тік құлама шоғырларды қазымдау кезінде төбелік кентірекке түсетін бүйірлік қысымды анықтау.**

Контур жанындағы массивтің кернеуленген күйін есепке алғанда тік құлама шоғырларды қазымдау кезінде төбелік кентірекке түсетін жүктемені анықтау әдістемесі келтірілген. Қазылған кеңістік маңындағы тау қысымының айқындалу мәселелері қарастырылған. Кентіректен бұзылу күштің аспалы бүйірдің жыныстық массивімен себептелгені анықталған. Үлгілердің бір осьті қысылған кездегі кернеулі-деформацияланған күйі зерделенген. Бүйірлік қысымның әсерінен түзілген деформация аймағы анықталған. Деформация аймақтарының шекараларын анықтау БАБО әдісі бойынша, тау жыныстарының әрбір типі үшін жеке құрылған беріктік паспорттары негізінде жүзеге асырылады. Кен орнының тау-кен-геологиялық жағдайларына және бүйірлік қысым коэффициентінің өзгеруіне байланысты массивте жүретін процестердің таралу аймағын анықтау әдістемесі негізделген.

ЭОЖ 622.831.325.2. ГАЛЕМСКИЙ П.В., КАНИН В.А. **Қорғау әрекетінің тиімділігін бақылау кезінде десорбметрияны қолдану.**

Көмір қабатын басып озып қазымдау тиімділігін бақылау мақсатында газды көмірден десорбциялау қарқындылығын эксперименттік зерттеу жүргізілген. Өлшемдер әдістемесіне және десорбметрге қойылатын талаптар анықталған. Аспаптың жабық көлемінде газ қысымының арту заңдылығы анықталған, бұл өлшемдер нәтижелері бойынша оның герметикалығын бақылау әдістемесін әзірлеуге мүмкіндік берді. Қорғау әрекетінің тиімділігін бақылаудың статистикалық негізделген әдісі ұсынылды. Логарифмдік координаталардағы десорбция қарқындылығының сапалы сипаттамалары алынған. Аспаптардың герметикалығын бақылау әдісі әзірленген.

ЭОЖ 622.537.8: 550.42: 533.6. КАНИН В.А., ТАРАНИК А.А., БРЮМ В.З. **Газ факторы бойынша апаттық жағдайларды болжау проблемасына геохимиялық амал.**

Украинаның көмір шахталарында апаттық жағдайлардың көбеюіне талдау жүргізілген. Травматизм күйі және деңгейін жоғарылатуға тенденциялар талданған. Ауыр көмірсутектердің ролі туралы жорамал негізделген.

UDC 622.831. DYOMIN V.F., ISABEK T.K., DYOMINA T.V., BAIMULDIN M.M. **Developing Progressive Technological Schemes of Sinking Development Workings with Roof Bolting.**

Workings stability depends on enclosing rocks characteristics, its imperfection - on the support form and density, working location and their orienting in the mass to the acting stresses. There are developed progressive technological schemes of workings sinking with roof bolting. There is developed an anchor with the inner hole (or outside cut); built-up steel anchor. There are formed working drawings for the controlled metal catch up; coupling for the roof bolting. There is planned a comparative testing of the units suggested. Conformity is carried out with the best foreign samples of the roof bolting in industrial conditions.

UDC 622.271. SABDENBEKULY O., TAKHANOV D.K., KOZHAS A.K., ZHUNUSOVA G.E., KAPASOVA A.Z. **Determining Lateral Pressure on Ceiling Pillar in Developing Sharply Inclined Beddings.**

There is presented a methodology of determining the load on the ceiling pillar when developing sharply inclined deposits taking into account the contour mass stressed state. There are considered the questions of mining pressure manifestation around the worked out spaces. It was established that the force breaking the pillars is conditioned by the rock mass of the hanging side. There is studied stressed-and-strained state of the samples under the single-axe compaction. There is determined the deformation zone formed under the action of the lateral pressure. Determining the zone of deformation boundaries is carried out by the BABO method based on the strength passports made individually for each type of mining rocks. There is substantiated the methodology of determining the zone of propagating the processes taking place in the mass depending on mining geological conditions of the deposit and changing lateral pressure coefficient.

UDC 622.831.325.2. GALEMSKI P.V., KANIN V.A. **Using Desorbmetry in Controlling Protecting Action Efficiency.**

There are carried out experimental studies of gas desorption intensity from coal with the aim to control the efficiency of the advanced coal seam developing. There are defined the requirements to the measuring methodology and desorbmeter, established the law of gas pressure growth in a closed volume of the unit which permitted to develop a methodology of its leaktightness by the results of measuring. There is suggested a statistically substantiated method of controlling the protecting action efficiency. There are obtained quality characteristics of desorption intensity in logarithmic coordinates, developed a method of controlling the units leaktightness.

UDC 622.537.8:550.42:533.6. KANIN V.A., TARANIK A.A., BRYUM V.Z. **Geochemical Approach to Problem of Gas Factor Emergency Situations Predicting.**

There is carried out the analysis of emergency situations number growth at coal mines of the Ukraine. There are analyzed the state and tendencies to increasing traumatism level. There is substantiated a supposition about the

предположение о роли тяжелых углеводородов. Установлена принципиальная возможность использования тяжелых углеводородов в прогнозировании аварийных ситуаций. Разработаны требования к контролю за состоянием рудничной атмосферы. Обоснованы рекомендации по своевременному выполнению профилактических мероприятий для повышения безопасности работ.

УДК 550.834: 622.12. ГЛУХОВ А.А., КЕНЖИН Б.М., КОМПАНЕЦ А.И. **Влияние параметров тектонических нарушений на характеристики сейсмических волновых полей при использовании метода отраженных волн в шахтной сейсмозащедке.**

Рассмотрены основные закономерности изменения параметров тектонических нарушений в угольном пласте. Произведен анализ влияния параметров на основные характеристики волновых пакетов. Сформулированы требования к использованию метода отраженных волн. Установлены основные закономерности формирования частотных спектров. Разработаны требования к внедрению методики на угольных шахтах. Намечены пути совершенствования методики для мониторинга условий залегания.

УДК 622.232.8. ЖАУТИКОВ Б.А., МЕХТИЕВ А.Д., СУЛТАНБЕКОВ Т.Е. **Исследование спектра вибраций механической части горно-добывающих комплексов и экскаваторов.**

Проведение комплекса научных исследований с использованием методов вибродиагностики и неразрушающего контроля позволит своевременно выявить «слабые места» механической части экскаваторов, находящихся в длительной эксплуатации на карьерах Республики Казахстан. Существует необходимость детального обследования конструктивных частей горных машин на предмет наличия усталостных разрушений, износа, вибраций. Это позволяет установить фактическое техническое состояние горно-добывающих комплексов и экскаваторов, а также необходимость выполнения конкретного вида ремонта вне плана. Эффективность эксплуатации горного оборудования предполагает минимизацию затрат на его содержание и ремонт при максимальной производительности и соблюдении безопасных условий труда обслуживающего персонала. Полученные результаты экспериментальных и теоретических исследований спектра вибраций позволили сделать выводы о фактическом состоянии механической части экскаваторов и представить предельные состояния отдельных элементов. Использование вибродиагностики позволит горным предприятиям сократить в 2-3 раза затраты, связанные с ремонтом экскаваторов.

УДК 622.271. НИЗАМЕТДИНОВ Ф.К., УРДУБАЕВ Р.А., АНАНИН А.И., ОЖИГИНА С.Б. **Методика оценки состояния и районирования бортов глубоких карьеров по фактору устойчивости.**

На примере Соколовского карьера АО «ССГПО» приведена методика оценки состояния и районирования бортов глубоких карьеров по фактору устойчивости. Для оценки устойчивости бортов в среде программирования Delphi разработан программный комплекс «БОРТ» (ДГП «ВНИИцветмет»), алгоритм которого базируется на теории предельного равновесия горных пород. В качестве основы для компьютерного моделирования использована расчетная схема, разработанная в КарГТУ. Особенностью

Апаттық жағдайларды болжауда ауыр көмірсутек ерді пайдаланудың принциптік мүмкіндігі анықталған. Кеніштік атмосфера күйін бақылауға қойылатын талаптар әзірленген. Жұмыстардың қауіпсіздігін арттыру үшін алдын алу шараларын дер кезінде орындау бойынша ұсыныстар негізделген.

ӘОЖ 550.834: 622.12. ГЛУХОВ А.А., КЕНЖИН Б.М., КОМПАНЕЦ А.И. **Тектоникалық бұзылу параметрлерінің шахталық сейсмикалық барлауда шағылысқан толқындар әдісін пайдалану кезінде сейсмикалық толқындық өрістердің сипаттамаларына әсері.**

Көмір қабатындағы тектоникалық бұзылу параметрлері өзгеруінің негізгі заңдылықтары қарастырылған. Параметрлердің толқындық пакеттердің негізгі сипаттамаларына әсері талданған. Шағылысқан толқындар әдісін пайдалануға қойылатын талаптар тұжырымдалған. Жиілік спектрлерін құрудың негізгі заңдылықтары анықталған. Көмір шахталарында әдістемені ендіруге қойылатын талаптар әзірленген. Жатыс шарттарының мониторингіне арналған әдістемелерді жетілдіру жолдары белгіленген.

ӘОЖ 622.232.8. ЖАУТИКОВ Б.А., МЕХТИЕВ А.Д., СУЛТАНБЕКОВ Т.Е. **Кен өндіру кешендері мен экскаваторлардың механикалық бөлігінің дірілдері спектрін зерттеу.**

Діріл диагностикасы және бұзбай бақылау әдістерін пайдалану арқылы ғылыми зерттеулер кешенін жүргізу Қазақстан Республикасының карьерлерінде ұзақ пайдаланылған экскаваторлардың механикалық бөлігінің «әлсіз жерлерін» дер кезінде айқындауға мүмкіндік береді. Тау-кен машиналарының конструкциялық бөліктерін қажып бұзылудың, тозудың, дірілдің бар болуына толық тексеру қажеттілігі болады. Бұл кен өндіру кешендері мен экскаваторлардың нақтылы техникалық күйін, сондай-ақ жоспардан тыс жөндеудің нақты түрін орындау қажеттілігін анықтауға мүмкіндік береді. Тау-кен жабдығын пайдалану тиімділігі максимум өнімділік болғанда және қызмет көрсетуші персонал қауіпсіз еңбек шарттарын сақтағанда оны күтіп ұстауға және жөндеуге жұмсалатын шығындарды минимумдауды жорамалдайды. Дірілдер спектрін эксперименттік және теориялық зерттеудің алынған нәтижелері экскаваторлардың механикалық бөлігінің нақтылы күйі туралы тұжырымдар жасауға және жеке элементтердің шекті күйлерін көрсетуге мүмкіндік берді. Діріл диагностикасын пайдалану тау-кен кәсіпорындарының экскаваторларды жөндеумен байланысты шығындарды 2-3 есе қысқартуына мүмкіндік береді.

ӘОЖ 622.271. НИЗАМЕТДИНОВ Ф.К., УРДУБАЕВ Р.А., АНАНИН А.И., ОЖИГИНА С.Б. **Терең карьерлер беткейлерінің орнықтылық факторы бойынша күйін бағалау және аудандандыру әдістемесі.**

«ССГПО» АҚ Соколов карьерінің мысалында терең карьерлер беткейлерінің орнықтылық факторы бойынша күйін бағалау және аудандандыру әдістемесі келтірілген. Беткейлердің орнықтылығын бағалау үшін Delphi программалау ортасында «БОРТ» («ВНИИцветмет») ЕМК программалық кешені әзірленген, оның алгоритмі тау жыныстарының шекті тепе-теңдігі теориясына негізделеді. Компьютерлік модельдеу үшін негіз ретінде ҚарМТУ-да әзірленген есептік сұлба пайдаланылған. «БОРТ» программалық кешенінің ерекшелігі есептеу

role of heavy hydrogen carbons. There is established a principal possibility to use heavy hydrogen carbons in predicting emergency situations. There are developed the requirements to the control of the mine atmosphere condition. There are substantiated recommendations for the timely carrying out preventive measures to increase the operations safety.

UDC 550.834:622.12. GLUKHOV A.A., KENZHIN B.N., KOMPANETS A.I. **Tectonic Breakings Parameters Effect on Characteristics of Seismic Wave Fields when Using Reflected Waves Method in Mining Seismic Exploring.**

There are considered the main laws of changing the parameters of tectonic breakings in a coal seam. There is performed an analysis of the parameters effect on the main characteristics of the wave packages, formulated the requirements to using the method of reflected waves. There are established the main laws of forming frequency spectra. There are developed the requirements to introducing the methodology at mine coals, developed the course of methodologies improving for monitoring the bedding conditions.

UDC 622.232.8. ZHAUTIKOV B.A., MEKHTIYEV A.D., SULTANBEKOV T.E. **Studying Vibration Spectrum of Mining Complexes and Excavators Mechanical Part.**

Carrying out a complex of scientific research using methods of vibro-diagnostics and non-destructive control will permit to reveal timely "weak places" of the mechanical part of excavators being used for a long time at open pits of the Republic of Kazakhstan. There exists the necessity to study in details structural parts of mining machines for the existence of fatigue breakages, wear, vibrations. This permits to establish a real technical state of mining complexes and excavators, as well as the necessity of performing a concrete kind of repair out-of-plan. Mining equipment using efficiency supposes costs minimization for its maintenance and repair with maximum productivity and observing safe conditions of the personnel labor. The results obtained in experimental and theoretical studies permitted to conclude of the excavator mechanical part real state and to present separate elements limit state. Using vibro-diagnostics will permit mining enterprise to decrease 2-3 times the costs connected with excavators repair.

UDC 622.271. NIZAMETDINOV F.K., URDUBAYEV R.A., ANANIN A.I., OZHIGINA S.B. **Methodology of Valuating Deep Open Pit Slopes State and Zoning By Stability Factor.**

On the example of Sokolovski open pit of JSC SSMPC there is presented a methodology of valuating the condition and zoning of deep open pit slopes for their stability. To valuate slopes stability in the programming environment Delphi there has been developed a program complex BORT (ASE "VNIIVetmet"), whose algorithm is based on the theory of mining rocks limit balance. As a base for computer modeling there has been used a calculation scheme developed at KSTU. The peculiarity of the complex "BORT" is the possibility to obtain a volumetric decision when jointly using the results of calculation with



программного комплекса «БОРТ» является возможность получения объемного решения при совместном использовании результатов расчета с геоинформационной системой Surpac. Полученная цифровая объединенная модель используется при разработке карты устойчивости карьера. Данная карта позволяет оценить снижение устойчивости бортов карьера, выявить наиболее слабые участки, разработать и моделировать мероприятия по повышению их устойчивости.

УДК 622.1:622.27. ОЖИГИНА С.Б. **Методика оценки устойчивости карьерных откосов с учетом погрешности определения прочностных свойств массива.**

Статья посвящена совершенствованию вероятностного способа расчета устойчивости карьерных откосов. Предлагается методика оценки устойчивости карьерных откосов на основе статистических оценок совокупности определяющих факторов. Прочностные характеристики (угол внутреннего трения  $\rho$  и сцепление  $k$ ) определяются на основании регрессионного анализа данных лабораторных (натурных) испытаний на срез. Данная статистическая вероятностная методика позволяет построить как паспорт прочности  $\tau = f(P)$ , так и доверительные границы для неизвестной истинной зависимости при доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$ , что позволяет судить о надежности полученных результатов расчета. На основании проведенных исследований по оценке реального борта карьера «Нурказган» автор делает вывод: коэффициент запаса устойчивости должен определяться исходя из надежности и определения прочностных свойств массива, учитывающей вероятностный характер закона распределения и коррелируемость этих показателей. Предельное значение коэффициента запаса устойчивости борта карьера должно соответствовать нижней границе доверительного интервала, определенного при заданной вероятности и заданном количестве испытаний прочностных свойств.

УДК 622.273. ТИЛЕУХАН Н., ИСАБЕК Т.К., БЕССОНОВ В.В., СУДАРИКОВ А.Е., НУРМАГАМБЕТОВА А.С. **Способы снижения разубоживания руды.**

Рассмотрены вопросы разубоживания руды при отработке крутопадающих рудных тел на руднике Ушкатын-3 АО «Жайремский ГОК». При разработке близких рудных тел различного качественного содержания возникает еще один вид разубоживания – разубоживание от засорения рудой другого качественного состава или с меньшим содержанием руды. Причинами первого вида разубоживания могут быть: неточная отбойка руды по контактам залежи; отслаивание пород с кровли и боков; подработка боковых пород при выемке тонких жил для обеспечения очистного пространства. Разубоживание второго вида вызвано потерями: при доставке, транспортировании и в закладке обогащенной рудной мелочи; при оставлении целиков из сравнительно богатой руды по сравнению с соседними участками. Предложена селективная выемка рудных тел для снижения разубоживания руд. В первую очередь производится отработка железомарганцевых руд с системой магзинирования руды мелкочастиковой отбойкой. Во второй стадии предполагается отработка железных руд глубокими скважинами. Применение предложенной технологии позволит снизить разубоживание рудных тел.

нәтижелерін Surpac геоақпараттық жүйесімен бірге пайдалану кезінде көлемді шешім алу мүмкіндігі болып табылады. Алынған цифрлық біріктірілген модель карьердің орнықтылығы картасын әзірлеу кезінде пайдаланылады. Берілген карта карьер беткейлері орнықтылығының төмендеуін бағалауға, аса әлсіз учаскелерді айқындауға, олардың орнықтылығын жоғарылату бойынша шараларды әзірлеуге және модельдеуге мүмкіндік береді.

ӨЖ 622.1:622.27. ОЖИГИНА С.Б. **Массивтің беріктік қасиеттерін анықтау қателігін есепке алып карьер қиябеттерінің орнықтылығын бағалау әдістемесі.**

Мақала карьер қиябеттерінің орнықтылығын есептеудің ықтималдық тәсілін жетілдіруге арналған. Анықтаушы факторлар жиынтығын статистикалық бағалау негізінде карьер қиябеттерінің орнықтылығын бағалау әдістемесі ұсынылады. Беріктік сипаттамалары (ішкі үйкелу бұрышы  $\rho$  және ілініс  $k$ ) кесіндіге зертханалық (табиғи) сынау деректерін регрессиялық талдау негізінде анықталады. Берілген статистикалық тәсілмен беріктік беріктік паспортын да  $\tau = f(P)$ , сенімді ықтималдық  $\alpha = 0,95$  болғанда белгісіз шынайы тәуелділік үшін сенімді шекараларды да құруға мүмкіндік береді, бұл есептеудің алынған нәтижелерінің сенімділігі туралы айтуға мүмкіндік береді. «Нұрқазган» карьерінің нақты беткейін бағалау бойынша жүргізілген зерттеулер негізінде автор тұжырым жасайды: орнықтылық қорының коэффициенті уәлетіру заңының ықтималдық сипатын және осы көрсеткіштердің өзара байланыстылығын есепке алатын массивтің беріктік қасиеттерін анықтау сенімділігінен алғанда анықталуы тиіс. Карьер беткейінің орнықтылығы қоры коэффициентінің шекті мәні беріктік қасиеттерін сынаудың берілген ықтималдығы және берілген мөлшері кезінде анықталған сенімді интервалдың төмен шекарасына сәйкес келуі тиіс.

ӨЖ 622.273. ТИЛЕУХАН Н., ИСАБЕК Т.К., БЕССОНОВ В.В., СУДАРИКОВ А.Е., НУРМАГАМБЕТОВА А.С. **Кеннің құнарсыздануын төмендету тәсілдері.**

«Жайрем КБК» АҚ Ушкатын-3 кенішінде тік құлама руда денелерін қазымдау кезінде кеннің құнарсыздану мәселелері қарастырылған. Әр түрлі сапалы құрамды жақындасқан руда денелерін қазу кезінде құнарсызданудың тағы бір түрі – басқа сапалы құрамды рудамен немесе мөлшері аз рудамен бітелуден құнарсыздану пайда болады. Құнарсызданудың бірінші түрінің себептері: руданың шоғыр түйіспелері бойынша дәл уатылмауы; тау жыныстарының төбеден және бүйірлерден қатпарлануы; тазарту кеңістігін қамтамасыз ету үшін жіңішке желілерді алғанда бүйірлік тау жыныстарын келуле болуы мүмкін. Құнарсызданудың екінші түрі: байытылған руда ұсағын жеткізу, тасымалдау және толтырмалау кезіндегі; көршілес учаскелермен салыстырғанда біршама бай рудадан кентіректерді қалдыру кезіндегі шығындармен тудырылған. Кеннің құнарсыздануын төмендету үшін руда денелерін сұрыптап алу ұсынылған. Бірінші кезекте темір марганец рудасын руданы ұсақ штурмен уатумен қоймалау жүйесімен қазымдау жүргізіледі. Екінші сатыда темір рудаларын терең ұңғымалармен қазымдау ұсынылады. Ұсынылған технологияны қолдану руда денелерінің құнарсыздануын төмендетуге мүмкіндік береді.

geoinformation system Surpac. The digital joint model obtained is used in developing the open pit stability map. This map permits to evaluate the open pit slopes stability decrease, to reveal the weakest segments. To develop and to model measures for their stability increase.

UDC 622.1:622.27. OZHIGINA S.B. **Methodology of Valuating Open Pit Slopes Stability Taking into Account Mass Strength Properties Determining Errors.**

There is considered the improving of the probabilistic method of calculating open pit slopes. There is suggested a methodology of valuating open pit slopes stability based on statistical valuations of determining factors totality. Strength characteristics (inner friction angle and adhesion) are determined based on the regression analysis of the laboratory (nature) shear tests data. This statistic-and-probabilistic methodology permits to build both strength passport and confidence bounds for the unknown real dependence, which permits to judge about reliability of the results obtained. Based on the tests carried out for valuating a real slope of "Nurkazgan" open pit the author concludes: factor of safety against sliding must be determined starting from the reliability of determining the mass strength properties taking into account the probabilistic character of the distribution law and these indicators correlation. The limit value of the factor of safety against sliding of the open pit slope must correspond to the lower boundary of the confidence interval determined with the preset probability and preset number of strength properties tests.

UDC 622.273. TILEUKHAN N., ISABEK T.K., BESSONOV V.V., SUDARIKOV A.E., NURMAGAMBE TOVA A.S. **Methods of Ore Dilution Decrease.**

There are considered the questions of ore dilution when developing sharply inclined ore bodies at the mine "Ushkatyn-III" of JSC Zhairemski MCC. In developing close ore bodies of different quality composition there appears one more type of dilution – dilution from pollution with other quality composition ore or with less ore content. The reasons of the first type of dilution can be inaccurate ore breaking on the bedding contacts; mining rocks exfoliation from the roof and sides. The second type dilution is caused by the losses: when delivering, transporting and putting the concentrated ore fines; when leaving pillars of rather a rich ore as compared to the neighboring districts. There has been suggested a selective mining of ore bodies for decreasing ore dilution. First of all there is carried out iron-ore developing with the system of ore shrinkage by small blast-holes. At the second stage there is suggested to develop iron ores by deep wells. This technology use will permit to decrease ore bodies dilution.

УДК 656.021. СУЛЕЙМЕНОВА Л.К., ЯВОРСКИЙ В.В. **Задачи формирования моделей определения и реализации транспортной потребности населения города.**

Для решения задач, связанных с планированием инфраструктуры транспорта, необходимы данные о транспортных потребностях. Рассматривается процесс формирования моделей анализа транспортной потребности населения города. Для хранения данных о транспортной потребности предлагается использовать матрицы корреспонденций населения между транспортными районами города. Очевидна взаимосвязь матриц корреспонденций реальных пассажиропотоков на маршрутах с матрицей корреспонденций передвижений между районами города. Представлены особенности и анализа функционирования маршрутов городского пассажирского транспорта и методы получения данных о пассажиропотоках. Для проведения обследования пассажиропотоков рекомендуется использовать телоданный метод как один из наиболее точных. Применение современных информационных технологий обработки данных для формирования матрицы корреспонденций и обработки результатов обследования позволит оперативно и точно определять транспортные потребности населения и прогнозировать развитие транспортной системы.

УДК 621.3:004. ЛИСИЦЫН Д.В. **Компьютерное моделирование многодвигательного электропривода механизма поворота одноковшовых экскаваторов с уточненной механической частью.**

Проведен анализ электромеханических процессов в двухдвигательном электроприводе механизма поворота одноковшовых экскаваторов. Разработаны математические модели элементов электропривода. Уточнена структурная схема механической части электропривода. В среде пакета прикладных программ Matlab-Simulink разработана имитационная модель двухдвигательного электропривода механизма поворота. Проведена серия имитационных экспериментов при различных начальных условиях. Выявлены основные причины, снижающие ресурс и долговечность электропривода механизма поворота. Определены основные направления по улучшению режимов работы механизма поворота.

УДК 622.232.72.001.24-52. ПАРШИНА Г.И. **Алгоритмы и принципы построения автоматизированной системы поддержки работоспособности электротехнических комплексов очистных участков угольных шахт.**

Определены основные функции программного комплекса, автоматизирующего работу, проводимые в отделе главного энергетика шахты. Определены основные задачи, решаемые автоматизированной системой расчета электроснабжения добычного участка угольной шахты. Разработаны алгоритмы расчета схемы электроснабжения. Проведен анализ алгоритмов с позиции обеспечения правильной последовательности получения исходной информации. Выявлены риски и пути их возможных устранения. Рассмотрены основные режимы функционирования автоматизированной системы расчета. Описывается процесс работы с программным комплексом «Автоматизированное рабочее место».

УДК 621.316.9 БРЕЙДО И.В., СМАГУЛОВА

ӨЖ 656.021. СУЛЕЙМЕНОВА Л.К., ЯВОРСКИЙ В.В. **Қала халқын тасымалдау қажеттілігін анықтау және іске асыру модельдерін құру міндеттері.**

Көлік инфрақұрылымын жоспарлаумен байланысты міндеттерді шешу үшін, тасымалдау қажеттіліктері туралы деректер қажет. Қала халқын тасымалдау қажеттілігін талдау модельдерін құру процесі қарастырылады. Тасымалдау қажеттілігі туралы деректерді сақтау үшін қаланың тасымалдық аудандары арасындағы халық қатынастарының матрицаларын пайдалану ұсынылады. Маршруттардағы нақты жолаушылар ағыны қатынастары матрицаларының қала аудандары арасындағы қозғалыстар қатынастарының матрицасымен өзара байланысы анық. Қалалық жолаушылар көлігі маршруттарының жұмыс істеуін талдау ерекшеліктері және жолаушылар ағыны туралы деректер алу әдістері ұсынылған. Жолаушылар ағынын тексеру үшін аса дәл әдістердің бірі ретінде талондық әдісті пайдалану ұсынылады. Қатынастар матрицасын құру және тексеру нәтижелерін өңдеу үшін деректерді өңдеудің қазіргі заманғы ақпараттық технологияларын қолдану халықты тасымалдау қажеттілігін жедел және дәл анықтауға және көлік жүйесінің дамуын болжауға мүмкіндік береді.

ӨЖ 621.3:004. ЛИСИЦЫН Д.В. **Механикалық бөлігі нақтыланған бір шөмішті экскаваторлардың бұрылыс механизм-інің көп қозғалтқышты электр жетегін компьютерлік модельдеу.**

Бір шөмішті экскаваторлардың бұрылыс механизмінің екі қозғалтқышты электр жетегінде электр-механикалық процестерді талдау жүргізілген. Электр жетегі элементтерінің математикалық модельдері әзірленген. Электр жетегінің механикалық бөлігінің құрылымдық сұлбасы нақтыланған. Matlab-Simulink қолданбалы программалар пакеті ортасында бұрылыс механизмінің екі қозғалтқышты электр жетегінің имитациялық моделі әзірленген. Әртүрлі бастапқы жағдайлар болғанда имитациялық эксперименттер сериясы жүргізілген. Бұрылыс механизмі электр жетегінің ұзақ мерзімділігін және ресурсты төмендететін негізгі себептер айқындалған. Бұрылыс механизмінің жұмыс режимдерін жақсарту бойынша негізгі бағыттар анықталған.

ӨЖ 622.232.72.001.24-52. ПАРШИНА Г.И. **Көмір шахталарының тазарту учаскелерінің электр-техникалық кешендерінің жұмысқа қабілеттілігін қолдаудың автоматтандырылған жүйесін құру алгоритмдері мен принциптері.**

Шахтаның бас энергетигі бөлімінде жүргізілетін жұмыстарды автоматтандыратын программалық кешеннің негізгі функциялары анықталған. Көмір шахтасының өндіру учаскесін электрмен қамту есептеудің автоматтандырылған жүйесімен шешілетін негізгі міндеттер анықталған. Электрмен қамту сұлбасын есептеу алгоритмдері әзірленген. Алғашқы ақпаратты алудың дұрыс жүйелілігін қамтамасыз ету тұрғысынан алгоритмдерді талдау жүргізілген. Қатерлер және оларды жоюдың мүмкін жолдары айқындалған. Есептеудің автоматтандырылған жүйесі жұмыс істеуінің негізгі режимдері қарастырылған. «Автоматтандырылған жұмыс орны» программалық кешенімен жұмыс істеу процесі сипатталады.

ӨЖ 621.316.9 БРЕЙДО И.В., СМАГУЛОВА

UDC 656.021. SULEIMENOVA L.K., YAVORSKI V.V. **Problems of Forming Models for Defining and Realizing City Population Transport Need.**

To solve the problems connected with planning the transport infrastructure it's necessary to know the transport demands. There is considered the process of forming models of analyzing the transport demand of a city population. To store the data of the transport demand there is suggested to use matrixes of the population correspondences between the transport districts of the city. The mutual connection between the correspondences matrixes of real passenger traffic on the routes with correspondence matrix of travels between the city districts. There are presented characteristics of analyzing the city transport routes functioning and methods of obtaining the data of the passenger traffic. Using modern methods of the results processing will permit to define operatively and accurately the transport demands and to predict the transport system developing.

UDC 621.3:004. LISITSYN D.V. **Computer Modeling of Multi-Engine Electric Drive of Single-Bucket Excavator Rotary Mechanism with Verified Mechanical Part.**

There has been carried out the analysis of electric mechanical processes in two-engine electric drive of the single-bucket excavator rotary mechanisms. There have been developed mathematical models of electric drive elements, verified the structural scheme of electric drive mechanical part. In the environment of applied programs package Matlab-Simulink there has been developed an imitation model of two-engine electric drive of the rotary mechanism. There have been carried out a number of imitation experiments with different initial conditions. There have been revealed the main reasons of decreasing the resource and durability of the rotary mechanism electric drive. There have been defined the main trends for improving the rotary mechanism operation modes.

UDC 622.232.72.001.24-52. PARSHINA G.I. **Algorithms and Principles of Forming Automated System of Supporting Workability of Electric Engineering Complexes of Coal Mine Stopes.**

There have been defined the main functions of the program complex automating the operations carried out at the department of the chief power engineer of the mine. There have been defined the principal tasks solved by the automated system of calculating a coal mine developing department electric power supply. There have been developed algorithms of calculating the scheme of electric supply, carried out the analysis of the algorithms from the position of providing the correct sequence of obtaining initial information. There have been revealed risks and the ways of their possible eliminating, considered the main modes of calculation automated system functioning; described the process of work with the program complex "Automated working place".

UDC 621.316.9. BREIDO I.V., SMAGULOVA K.K.,

К.К., ИСКАКОВ У.К. **Методы адаптации параметров аппарата защиты от токов утечки в условиях колебания напряжения.**

Приводятся процессы, протекающие в сети с изолированной нейтралью. Получены данные, необходимые для формирования критериев алгоритма управления. Разработана модель сети в среде Matlab 7.01. Вместе с этим разработаны 15 правил нечетких пропусканий. Проведены фазификация и агрегирование входных переменных, получены выходные графики. В результате работы разработан алгоритм, обеспечивающий автоматическое изменение уставок защиты при изменении напряжения сети с изолированной нейтралью, а также при одно- и двухфазных утечках.

УДК 622.0025:621.314.632. КРИЦКИЙ А.Б., ФЕШИН Б.Н. **Супервизорное управление электротехническими комплексами систем теплоснабжения мегаполисов.**

Анализируется процесс интеграции программных комплексов ГИД-99w и ТГИД-05 в АСУ ТП. Перечисляются задачи, которые позволяют решать АСУ ТП теплоснабжения мегаполисов. Проводится обзор информационных технологий для АСУ ТП экономического пространства СНГ. Производится декомпозиция иерархических систем управления теплоснабжения мегаполисов. Рассматривается процесс взаимодействия ИГС ТГИД-05 и SCADA-систем в составе единого программно-аппаратного комплекса. Дается характеристика SCADA-системы WinCC. Приводится функциональная схема АСУ ТП верхнего уровня СТМ.

УДК 621.865.8. ШПАКОВА Л.Г. **Реализация системы управления координированием манипулятора методами fuzzy-логики.**

Современная экономика требует активного развития информационных технологий в производстве. Одной из приоритетных задач производства является применение роботов в промышленности. Это позволяет повысить производительность, улучшить качество продукции и, что немаловажно, освободить человека от тяжелого, опасного и монотонного труда. Следовательно, работы, связанные с созданием принципов и методов управления роботами-манипуляторами, обладают высокой степенью актуальности. В данной статье рассматривается реализация системы управления роботом-манипулятором методами fuzzy-логики.

УДК 622.44:681.518.3. БРЕЙДО И.В., СИЧКАРЕНКО А.В., ШПАКОВ М.А. **Подсистема обработки и хранения информации в системе пред- и поставарийного контроля состояния электрооборудования и технологической среды.**

Проанализированы причины аварийных ситуаций на объектах, опасных по пыли, газу и внезапным выбросам. Показана проблема определения причин развития аварийных ситуаций. Предложен способ надежного объективного документирования пред- и поставарийного контроля параметров электрооборудования и технологической среды по образцу и подобию авиационных «черных ящиков». Показана структура системы в целом и подробно рассмотрена подсистема сбора и хранения информации.

УДК 622.232.72.001.24-52. ПАРШИНА Г.И., ФЕШИН Б.Н. **Алгоритмы оценки качества знаний сотрудников электротехнических служб угольных шахт.**

Выявлена необходимость оценки качества

К.К., ЫСҚАҚОВ У.К. **Кернеу ауытқыған жағдайларда жылыстау тогынан қорғау аппаратының параметрлерін бейімдеу әдістері.**

Оқшауланған бейтараптамасы бар желіде өтетін процестер келтіріледі. Басқару алгоритмі критерийлерін құру үшін қажетті деректер алынған. Matlab 7.01 ортасындағы желі моделі әзірленген. Сонымен бірге дәл емес өнімнің 15 ережесі әзірленген. Кірістік айнымалыларды фазаландыру және агрегаттау жасалған, шығыстық графиктері алынған. Жұмыс нәтижесінде оқшауланған бейтараптамасы бар желі кернеуі өзгергенде, сондай-ақ бір және екі фазалы жылыстау болғанда қорғау тағайындамаларының автоматтық өзгеруін қамтамасыз ететін алгоритм әзірленген.

ӨЖ 622.0025:621.314.632. КРИЦКИЙ А.Б., ФЕШИН Б.Н. **Мегаполистерді жылумен қамту жүйелерінің электр-техникалық кешендерін супервизорлық басқару.**

ТП АБЖ-дағы ГИД-99w және ТГИД-05 программалық кешендерін шоғырландыру процесі талданады. Мегаполистерді жылумен қамтудың ТП АБЖ шешуге мүмкіндік беретін міндеттер аталады. ТМД экономикалық кеңістігінің ТП АБЖ арналған ақпараттық технологияларға шолу жасалады. Мегаполистерді жылумен қамтуды басқарудың иерархиялық жүйелерінің декомпозициясы жүргізіледі. Бірыңғай программа-аппараттық кешен құрамында ТГИД-05 және SCADA-жүйелерінің ИГС өзара әрекеттесу процесі қарастырылады. WinCC SCADA-жүйесінің сипаттамасы беріледі. МЖЖЖ жоғарғы деңгейінің ТП АБЖ функционалдық сұлбасы келтіріледі.

ӨЖ 621.865.8. ШПАКОВА Л.Г. **Манипуляторды fuzzy-логика әдістерімен үйлестіруді басқару жүйесін іске асыру.**

Қазіргі заманғы экономика өндірістері ақпараттық технологиялардың белсенді дамуын талап етеді. Өндірістің басым міндеттерінің бірі өнеркәсіпте роботтарды қолдану болып табылады. Бұл өнімділікті жоғарылатуға, өнім сапасын жақсартуға және ең маңыздысы, адамды ауыр, қауіпті және бір сарынды жұмыстан босатуға мүмкіндік береді. Осыдан, робот-манипуляторларды басқару принциптері мен әдістерін құрумен байланысты жұмыстар маңыздылықтың жоғары деңгейін иеленеді. Берілген мақалада робот-манипуляторды fuzzy-логика әдістерімен басқару жүйесін іске асыру қарастырылады.

ӨЖ 622.44:681.518.3. БРЕЙДО И.В., СИЧКАРЕНКО А.В., ШПАКОВ М.А. **Электр жабдығының күйін және технологиялық ортаны апат алдында және одан кейін бақылау жүйесінде ақпаратты өңдеудің және сақтаудың қосалқы жүйесі.**

Шаң, газ және кенеттік лақтырыстар бойынша қауіпті объектілерде апаттық жағдайлар себептері талданған. Апаттық жағдайларды дамыту себептерін анықтау проблемасы көрсетілген. Электр жабдығының параметрлерін және технологиялық ортаны авиациялық «қара жәшіктер» бейнесі және ұқсастығы бойынша апат алдында және одан кейін сенімді объективті құжаттандырылған бақылау тәсілі ұсынылған. Жалпы алғанда жүйенің құрылымы көрсетілген және ақпаратты жинаудың және сақтаудың қосалқы жүйесі қарастырылған.

ӨЖ 622.232.72.001.24-52. ПАРШИНА Г.И., ФЕШИН Б.Н. **Көмір шахталарының электр-техникалық қызметтері қызметкерлерінің білімі сапасын бағалау алгоритмдері.**

Көмір шахталары электр-техникалық қызмет-

ISKAKOV U.K. **Methods of Unit for Protection from Leakage Current Parameters Adaptation in Conditions of Voltage Fluctuation.**

There are presented the processes taking place in the network with an isolated neutral. There have been obtained the data necessary for forming criteria of control algorithm. There has been developed a network model in the environment Matlab 7.01. Alongside with this there have been developed 15 rules of odd productions. There has been performed a phasing and aggregating of the input variables, obtained the input graphs. As a result there has been developed an algorithm ensuring automated changing of the protection sets when changing the network voltage with the isolated neutral, as well as at single- and double-phase leakages.

UDC 622.0025:621.314.632. KRITSKI A.B., FESHIN B.N. **Supervision Controlling Electric Engineering Complexes of Megalopolises Heat Supplying Systems.**

There is analyzed the process of integrating program complexes GID-99w and TGID-05 in TP ACS. There are named the problems which permit to solve TP ACS of megalopolises heat supply. There is presented the review of information technologies for TP ACS of the CIS economical space, performed decomposing of hierarchic systems of controlling megalopolises heat supply. There is considered the process of interaction between TGID-05 and SCADA-systems in the structure of a single program soft- and hardware, given the characteristic of SCADA-system WinCC. There is presented a functional scheme of TP ACS of the highest level.

UDC 621.865.8. SHPAKOVA L.G. **Realizing Manipulator Coordination Control System by Fuzzy-Logics Methods.**

Modern economics requires an active development of information technologies in production. One of the prior tasks of production is using robots in industry. This permits to increase productivity, to improve production quality and to free a man from heavy, dangerous and monotonous labor. Consequently, operations connected with forming principles and methods of controlling robots-manipulators possess a high extent of urgency. In the article there is considered realization of the system for controlling a robot-manipulator by fuzzy-logics methods.

UDC 622.44:681.518.3. BREIDO I.V., SICHKARENKO A.V., SHPAKOV M.A. **Subsystem of Information Processing And Storing in System of Pre- and Post-Accident Controlling Electric Equipment and Technological Environment State.**

There have been analyzed the reasons of emergency situations at the objects dangerous for dust, gas and sudden outbursts. There is shown the problem of defining the reasons of emergency situations occurring. There has been suggested a method of reliable objective documented pre- and post- accident controlling parameters of electric equipment and technological environment similar to those of aviation "black boxes". There is shown the structure of the system on the whole and considered in details the subsystem of information collecting and storing.

UDC 622.232.72.001.24-52. PARSHINA G.I., FESHIN B.N. **Algorithms of Valuating Knowledge Quality of Coal Mines Electric Engineering Services Workers.**

There has been revealed the necessity to value the quality of coal mines electric

подготовки сотрудников электротехнических служб угольных шахт. Определены основные компоненты системы оценки качества знаний. Разработан алгоритм работы автоматизированной системы оценки качества знаний. Определены основные области знаний, в рамках которых формируется оценка компетенции сотрудников. Рассмотрены основные обучающие воздействия и методы обучения. Проведен анализ функций оценки знаний. Разработан алгоритм формирования общей оценки компетенции сотрудников.

УДК 622.0025:621.314.632. КРИЦКИЙ А.Б. Система управления частотно-регулируемых электроприводов в многоагрегатной насосной станции.

Анализируется система управления трехнасосной станцией с частотно-регулируемым электроприводом. Рассмотрена Автоматизированная система управления трехнасосной станцией, предназначенной для поддержания заданного давления в системе. Перечислены функции управления, реализуемые системой. Дано описание электрической схемы трехнасосной автоматизированной станции. Дано краткое описание программы управления. Приведена функциональная схема насосной станции с тремя параллельно работающими насосами. Указана системно-интегрирующая роль информационно-графической системы ТГИД-05.

УДК 004.056. САТЫБАЛДИНА Д.Ж. Анализ уязвимостей информационных систем.

Рассматривается методология анализа уязвимости автоматизированных систем управления объектами информатизации. Представленный подход основан на методиках общей системы оценки уязвимости. Использован доступный математический аппарат. Алгоритм оценивания уязвимости состоит из вычисления трех метрик: базовой, временной и контекстной. Использование разных метрик позволяет классифицировать известные и новые уязвимости для организации и ее окружения. Оценка уязвимости различных программных и аппаратных платформ является одним из этапов оценки информационных рисков. Поэтому описанный алгоритм положен в основу построения автоматизированной системы управления информационными рисками.

УДК 621.316.36. СМАГУЛОВА К.К. Модель аппарата защиты от токов утечки в сетях постоянного тока.

Проведен обзор существующих аппаратов защиты от токов утечки. Предложены методы выявления элемента с ослабленной изоляцией в сетях постоянного тока. Также перечислены недостатки существующих аппаратов защиты от токов утечки. Представлена имитационная модель предлагаемой схемы контроля. Выполнен анализ фазочувствительной схемы контроля утечки тока в сетях постоянного тока. Приводятся результаты моделирования в виде осциллограмм, полученных с помощью пакета прикладных программ Electronics Workbench.

УДК 621.9-529. СИХИМБАЕВ М.Р. Автоматическое управление точностью обработки отверстий.

Приводятся исследования параметров технологической системы при автоматическом управлении точностью при растачивании отверстий, в частности, оценка устойчивости технологической системы. Предлагаемые исследования позволяют создать систему автоматического управления точностью формы и расположения

твери қызметкерлерінің даярлығы сапасын бағалау қажеттілігі айқындалған. Білім сапасын бағалау жүйесінің негізгі компоненттері анықталған. Білім сапасын бағалаудың автоматтандырылған жүйесі жұмысының алгоритмі әзірленген. Олардың шеңберінде қызметкерлердің құзыреті бағаланатын білімнің негізгі салалары анықталған. Негізгі оқытушы әсерлер және оқыту әдістері қарастырылған. Білімді бағалау функцияларын талдау жүргізілген. Қызметкерлердің құзыретін жалпы бағалау алгоритмі әзірленген.

ӨЖ 622.0025:621.314.632. КРИЦКИЙ А.Б. Көп агрегатты сорғы станциясында жиілікті-реттелетін электр жетектерін басқару жүйесі.

Жиілікті-реттелетін электр жетегі бар үш сорғылы станцияны басқару жүйесі талданады. Жүйеде берілген қысымды қолдауға арналған үш сорғылы станцияны басқарудың автоматтандырылған жүйесі қарастырылған. Жүйемен іске асырылатын басқару функциялары аталған. Үш сорғылы автоматтандырылған станцияның электр сұлбасы сипаттамасы берілген. Басқару программасының қысқаша сипаттамасы берілген. Параллель жұмыс істейтін үш сорғысы бар сорғы станциясының функционалдық сұлбасы келтірілген. ТГИД-05 ақпараттық-графикалық жүйесінің жүйелі шоғырлаушы ролі көрсетілген.

ӨЖ 004.056. САТЫБАЛДИНА Д.Ж. Ақпараттық жүйелердің осалдықтарын талдау.

Ақпараттандыру объектілерін автоматтандырылған басқару жүйелерінің осалдықтарын талдау әдіснамасы қарастырылады. Ұсынылған анал осалдықтарды бағалаудың жалпы жүйесі әдістемелеріне негізделген. Қолайлы математикалық аппарат пайдаланылған. Осалдықтарды бағалау алгоритмі үш метриканы есептеуден тұрады: базалық, уақыттық және контекстік. Әр түрлі метрикаларды пайдалану ұйым және оның қоршаған ортасы үшін белгілі және жаңа осалдықтарды жіктеуге мүмкіндік береді. Әр түрлі программалық және аппараттық платформалар осалдықтарын бағалау ақпараттық қауіптерді бағалау кезеңдерінің бірі болып табылады. Сондықтан сипатталған алгоритм ақпараттық қауіптерді автоматтандырылған басқару жүйесін құру негізіне салынған.

ӨЖ 621.316.36. СМАГУЛОВА К.К. Тұрақты ток желілеріндегі жылыстау тогынан қорғау аппаратының моделі.

Жылыстау тогынан қорғаудың қолданылатын аппараттарына шолу жасалған. Тұрақты ток желілерінде оқшауламасы нашарлаған элементті айқындау әдістері ұсынылған. Сондай-ақ жылыстау тогынан қорғаудың қолданылатын аппараттарының кемшіліктері аталған. Бақылаудың ұсынылатын сұлбасының имитациялық моделі ұсынылған. Тұрақты ток желілерінде токтың жылыстауын бақылаудың фаза сезімталдық сұлбасын талдау орындалған. Electronics Workbench қолданбалы программалары пакетінің көмегімен алынған осциллограммалар түрінде модельдеу нәтижелері келтіріледі.

ӨЖ 621.9-529. СИХИМБАЕВ М.Р. Тесіктерді өңдеу дәлдігін автоматтық басқару.

Тесіктерді кеулей жонғанда дәлдікті автоматтық басқару кезінде технологиялық жүйе параметрлерін зерттеу, атап айтқанда, технологиялық жүйенің орнықтылығын бағалау жүргізіледі. Ұсынылатын зерттеулер кеулей жоньлатын тесіктер пішінінің дәлдігін және орналасуын автоматтық басқару жүйесін құруға мүмкіндік береді. Ұсынылатын құрылғының артықшылықтары металлдарды механи-

engineering services workers training. There have been defined the main components of the knowledge quality valuating. There have been defined the main fields of knowledge in the frames of which there is formed the workers competence valuation. There have been considered the principal training affects and methods. There has been performed the analysis of knowledge valuation functions and developed an algorithm of forming the workers competence general valuation.

UDC 622.0025:621.314.632. KRITSKI A.B. System of Controlling Frequency-Controlled Electric Drives in Multi-Unit Pump Station.

There is analyzed a system of controlling three-pump station with frequency-controlled electric drive for maintaining preset pressure in the system. There are listed the controlling functions realized by the system, given a description of electric scheme of three-pump automated station. There is given a short description of the controlling program and a functional scheme of a pump station with three parallel operating pumps. There is indicated a system-integrating role of information graphic system TGID-05.

UDC 004.056. SATYBALDINA D.Zh. Analyzing Information Systems Vulnerability.

There is considered a methodology of analyzing automated control system vulnerability with informatization objects. The approach presented is based on methodologies of the common system of vulnerability valuation. There is used an accessible mathematical apparatus. The algorithm of vulnerability valuation consists of three metrics calculation: basic, time and context. Using different metrics permits to classify the known and new vulnerabilities for an organization and its environment. Valuating different software and hardware platforms is one of the stages of information risks valuation. That's why the algorithm described is the base of building an automated system of controlling information risks.

UDC 621.316.36. SMAGULOVA K.K. Model of Apparatus for Protecting from Leakage Current in Direct Current Networks.

There has been made a review of the existing apparatuses for protection from leakage current. There have been suggested methods of revealing the element with weakened isolation in the direct current networks, presented the disadvantages of the existing apparatuses. There is shown an imitation model of the control scheme suggested, carried out the analysis of phase-sensitive scheme of leakage current control in direct current networks. There are presented the results of modeling in the form of oscillograms obtained with the help of software package Electronics Workbench.

UDC 621.9-529. SIKHIMBAYEV M.R. Automated Control of Holes Precision Boring.

There are presented studies of the technological system parameters at automated controlling the precision boring, particularly, the valuation of the technological scheme stability. The studies suggested permit to form a system of automated controlling the form precision and the holes bored location. The suggested unit advantages are in decreasing the errors of

расточиваемых отверстий. Преимущества предлагаемого устройства в копировании погрешностей заготовки при механической обработке металлов. Кроме того, уменьшаются отклонения формы получаемых деталей при использовании данного устройства в 2-2,5 раза. В конечном итоге повышается точность расточиваемых отверстий.

калық өңдеу кезінде дайындама қателіктерінің азаюында болады. Сонымен қоса, берілген құрылғыны пайдаланғанда алынатын тесіктер пішінінің ауытқуы 2-2,5 есе азаяды. Ақырында кеулей жонылатын тесіктердің дәлдігі артады.

metal parts machining. Besides, there 2- 2.5 times decrease the obtained parts form deflection when using such a unit, and as a result there increase the holes precision boring.

## *Правила оформления и представления статей*

Научная 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. В исключительных случаях, по решению редакционного совета, может быть опубликовано две статьи одного автора.

Предпочтение отдается статьям, имеющим исследовательский характер и содержащим элементы научной новизны. Рекомендуется аналитические результаты научных исследований подтверждать данными, полученными экспериментальным путем или методами имитационного моделирования.

Статья должна иметь законченный характер, то есть в ней рекомендуется отобразить кратко историю рассматриваемого вопроса, поставить задачу, определить методику ее решения, привести результаты решения задачи, сделать выводы и заключение, привести список литературы. Не допускается использование в статьях фрагментов текста, рисунков или графиков из работ других авторов (или из Internet) без ссылки на них.

Статья представляется в редакционно-издательский отдел в двух экземплярах. Прилагается электронная версия статьи на CD-диске, направление организации. Приводится аннотация на русском языке, указывается индекс УДК. Обязательно наличие краткого реферата, состоящего не менее чем из **7 предложений** на русском и английском языках. Объем статьи не должен превышать 8 страниц машинописного текста. Текст статьи печатается через **1,5 интервала** (между строками 6 мм) на одной стороне листа форматом 210x297 мм; страницы нумеруются. Текст необходимо набирать в редакторе Word 2000 либо Word 2003 (не ниже) шрифтом Times New Roman, размер шрифта (кегель) — 14.

Все буквенные обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснять в основном или подрисуночном тексте. Нумеровать следует только те формулы и уравнения, на которые есть ссылка в тексте.

Рекомендуется компьютерная графика. Рисунки могут иметь расширения, совместимые с Word 2000, Word 2003, т.е. CDR, JPG, PCD, TIF, BMP.

Для рисунков должен применяться шрифт Arial. Размер шрифта (кегель) 14. Если рисунок отсканирован, вся текстовая часть рисунка должна быть набрана на компьютере и доступна для редактирования, написанные от руки обозначения в рисунках не допустимы.

Для таблиц рекомендуется шрифт Times New Roman, размер шрифта (кегель) 14.

Формулы должны быть набраны в формуляторе MathType, шрифт (кегель) 10, формат объекта 100%. Сканированные формулы не допускаются.

В статье не должно быть сложных и громоздких формул и уравнений, особенно формульных таблиц, а также промежуточных математических выкладок. 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 (только органически связанной со статьей, не более 7) составляется в порядке цитирования и дается в конце статьи. В тексте ссылки на литературу отмечаются порядковыми цифрами в квадратных скобках, а именно [1, 2]. В конце статьи следует указывать название организации, где выполнена работа, контактный телефон, факс и адрес электронной почты. Статья

должна быть подписана всеми авторами с указанием ученой степени, служебного и домашнего адресов и телефонов.

Публикация неверно оформленных статей задерживается.

УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ      ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА  
2010. №4. 97 с.

№ 1351-ж тіркеу куәлігін 2000 жылдың 4 шілдесінде Қазақстан Республикасының Мәдениет, ақпарат және қоғамдық келісім министрлігі берген

Регистрационное свидетельство № 1351-ж от 04.07.2000 года выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан

*Әдеби редакторлар — Литературные редакторы*

Р.С. Исакова, Б.А. Асылбекова, К.К. Сагадиева

*Аудармашылар — Переводчики*

А.С. Қордабаева, Н.М. Драк

*Компьютерлік ажарлау және беттеу — Компьютерный дизайн и верстка*

М.М. Утебаев, У.Е. Алтайбаева

Басуға қол қойылды	29.12.2010	Подписано в печать
Пішімі	60×84/8	Формат
Көлемі, б.т.	12,2	Объем, п.л.
Таралымы	500	Тираж
Тапсырыс	4854	Заказ
Индексі	75857	Индекс
Келісімді баға		Цена договорная

Е-mail редакции: rio\_kstu@mail.ru

Отпечатано в типографии Карагандинского государственного технического университета  
100027, г. Караганда, б. Мира, 56.



