

Регистрационный № 145-ж

№ 4 (90), декабрь, 2020

Основан в 1998 году

Выходит 4 раза в год

Ғылыми журнал

Д. Серікбаев атындағы
Шығыс Қазақстан техникалық университетінің

ХАБАРШЫСЫ



ВЕСТНИК

Восточно-Казахстанского технического университета
им. Д. Серикбаева

Научный журнал



Бас редакторы – Главный редактор

Ж.К. Шаймарданов

доктор биологических наук, профессор

Редакция алқасы – Редакционная коллегия:

Заместитель главного редактора:

О.Д. Гавриленко, канд. геол.-мин. н.

Ответственный секретарь – О.Н. Николаенко

Члены коллегии:

Абрахам Атта Огву, профессор (Великобритания)

Д.Л. Алонцева, к.ф-м н., профессор (Казахстан)

Ю.В. Баталов, д.э.н., профессор (Казахстан)

Бешо Масахико, Dr.PhD, профессор (Япония)

И.А. Бессмертный, д.т.н., профессор (Россия)

Е.В. Блиная, к.т.н., доцент (Казахстан)

Вальдемар Войчик, д.т.н. (Польша)

С.А. Выжва, д.г.н., профессор (Украина)

Н.Ф. Денисова, к.ф-м.н., доцент (Казахстан)

В.П. Дмитриенко, к.х.н., доцент (Россия)

М.В. Дудкин, д.т.н., профессор (Казахстан)

Б.А. Дьячков, д.г.-м.н., профессор (Казахстан)

Н.К. Ердыбаева, д.ф-м.н. (Казахстан)

Т.Т. Ипалаков, д.т.н., профессор (Казахстан)

В.А. Кескинов, к.т.н., доцент (Россия)

Е.А. Колос, д.э.н., доцент (Казахстан)

В.П. Колпакова, д.т.н., доцент (Казахстан)

К.К. Комбаев, Dr.PhD (Казахстан)

Ю.В. Крак, д.т.н., профессор (Украина)

Н.А. Куленова, к.т.н., асс. профессор (Казахстан)

Г.В. Кустарев, к.т.н., профессор (Россия)

С.В. Мамяченков, д.т.н., профессор (Россия)

О.А. Манцуров, полковник (Казахстан)

М.А. Мизерная, к.г.-м.н., доцент (Казахстан)

С.И. Миргородский, к.т.н., доцент (Казахстан)

М. Млынчак, Dr. hab, профессор (Польша)

Ж.С. Оналбаева, Dr.PhD (Казахстан)

С.В. Плотников, д.ф.-м.н., профессор (Казахстан)

А.Д. Погребняк, д.ф.м.н., профессор (Украина)

Н.В. Прохоренкова, Dr.PhD (Казахстан)

М.А. Саденова, к.х.н., доцент (Казахстан)

М.Д. Старостенков, д.ф.-м.н., (Россия)

Я. Стрычек, Dr. hab, профессор (Польша)

Б.В. Сырнев, д.т.н., профессор (Казахстан)

З.К. Тунгушбаева, к.т.н. (Казахстан)

Г.К. Уазырханова, Dr.PhD (Казахстан)

А.В. Хапин, к.т.н. (Казахстан)

Н.А. Чарыков, д.х.н., профессор (Россия)

В.Ю. Чернавин, к.т.н., профессор (Казахстан)

Ю.Н. Шапошник, д.т.н., профессор (Россия)



MFTAA 622.271

Г.Ю. Абдуғалиева¹, М.К. Иманғазин², А.А. Оралбаев³¹Д. Серікбаев ат. Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ.²Қ. Жұбанов ат. Ақтөбе аймақтық мемлекеттік университеті, Ақтөбе қ.³Қазақ-Орыс Халықаралық университеті, Ақтөбе қ.**АҚТӨБЕ ОБЛЫСЫНДАҒЫ «СИТАЛ-2» ЖШС САЗ ӨНДІРЕТІН КАРЬЕРДЕГІ ҚАУІПСІЗДІКТІ САРАПТАУ**

Бұл мақалада Ақтөбе облысындағы Жоғарғы-Сазды кенорнында кірпішке жарамды сазды өндіру жұмыстарының қауіпсіздігін және оның қоршаған ортаға әсерлерін бағалау қарастырылған. Есептеу нәтижесінде игеру жұмыстарының қауіптілік тәуекелдігі рұқсат етілген деңгейде және өндірудің қоршаған ортаға әсері минимал шамада болатыны анықталды.

В данной статье рассмотрена безопасность работ и оценка влияния на окружающую среду добычи кирпичных глин на месторождении Верхне-Саздинское Актыбинской области. Расчётным путём установлено, что риск опасности добычных работ находится на приемлемом уровне и влияние добычи на окружающую среду минимальное.

This article discusses the safety of work and the assessment of the environmental impact of the extraction of brick clays at the Verkhne-Sazdinskoye deposit in the Aktobe region. It has been established by calculation that the risk of mining is at an acceptable level and the environmental impact of production is minimal.

Түйін сөздер: тау-кен кәсіпорны саласы, сараптау, өндірістік қауіпсіздік, тәуекел, қауіп, қоршаған ортаның ластануы.

Өндірістік нысан туралы жалпы мәлімет. Жоғарғы-Сазды кенорны Ақтөбе қаласының маңында оңтүстік шетінен оңтүстік-батыс бағытта 5 км қашықтықта орналасқан. Саз кенорны орналасқан жердің рельефі – көлбеу құлама жазықтық. Жер бетінің абсолюттік максимал белгісі +235 м, минимал белгісі +222 м, жер бетінің жалпы төмендеуі солтүстік-батыс.

Кенорын өнеркәсібі дамыған облыс орталығына жақын орналасқандықтан, бұл аймақта құрылыс шикізаттары мен оның өнімдеріне сұраныс үлкен қарқынмен сипатталады. Карьердің техникалық суға мұқтаждығы Ақтөбе қаласынан 2 км қашықтықта орналасқан Сазды су қоймасы мен Сазды өзені арқылы қанағаттандырылады. Қарастырылып отырған кенорынның аймағында Сазды және Сазды-II құрылыстық құм карьері, сондай-ақ, Сазды және Оңтүстік-Сазды сазды керамзит кенорындары орналасқан.

Карьердің тау-кен жер тілімінде ауылшаруашылық жерлері, құрылыстар мен ғимараттар орналаспаған. Кенорнының өндірістік нысандық сипаттамасы 1-кестеде берілген.

1-кесте

Өндірістік нысанның орналасу сипаттамасы

№	Көрсеткіштің атауы	Өлшем бірлігі	Көрсеткіштер
1	Аумақ ауданы	м ²	250547
2	Шекарасының ұзындығы	м	2200
3	Шектеу қойылған аудан	га	жоқ
4	Санитарлық-қорғау аймағы, ауданы	м ²	600000
5	Аймақ шекарасының ұзындығы	м	-
6	Теңіз деңгейінен орташа биіктігі	м	365,0
7	Нысан орналасқан аумақта жер сілкіну қауіптілігі	балл	Рихтер шкаласы бойынша 3-4

Календарлық жоспар бойынша өндірудің орташа жылдық көлемі саз бойынша 83,2 мың м³, аршылым (вскрыша) бойынша 11,5 мың м³ тау жыныстарын құрайды.

Кәсіпорынның құрылымы. Кәсіпорын өз құрылымында келесі нысандарды қамтиды:

- карьер;
- құнарлы топырақ қабаттың уақытша үйіндісі;
- аршылым қабатының уақытша қабаты;
- тұрақ алаңы мен әкімшілік-тұрмыстық вагондарды орналастыруға арналған стационарлық алаң;
- ішкі және алаңаралық автожолдар;
- ЛЭП;
- автожол – карьер - Ақтөбе–Альжан мелькомбинаты автотрассасы;
- ЛЭП – карьерлік КТП – әрекет ететін ВЛ-10 кВ.

Карьерлік тау-кен жабдықтарының спецификациясы 2-кестеде келтірілген.

2-кесте

Карьерлік тау-кен жабдықтарының спецификациясы

№	Жабдық, марка	Саны	Қысқаша техникалық сипаттамасы	Салмағы бірлік, т
1	Скрепер-ДЗ149-5	1	Шөміштің сыйымдылығы: геометриялық – 8,8 м ³ , үсті үйілгенде – 11,0 м ³ , К-701 базалық трактор, двигательдің қуаты 220 кВт	23,5
2	Бульдозер-итергіш ДЗ-141	1	Гидроприводты үйінді, үйіндінің ені 4,8 м, биіктігі 2,1 м; дизельдік двигатель – двигательдің қуаты 342 кВт	58,4
3	Бульдозер ДЗ-171.1	1	Гидроприводты үйінді, үйіндінің ені 3,2 м, биіктігі 1,3 м; дизельдік двигатель – двигательдің қуаты 129 кВт	16,5
4	L-34 типті тиегіш	1	Үсті үйілген шөміштің сыйымдылығы 3,4 м ³ ; номиналдық жүккөтергіштік 6,8 т; Шөміштің кескіш шетінің ені 2800 мм; дизельдік двигатель – двигательдің қуаты 162 кВт	18,6
4	КАМАЗ-55111	5	Кузовтың сыйымдылығы 6,6 м ³ ; жүккөтергіштік 13 т; дизельдік двигатель – двигательдің қуаты 162 кВт; бұрылыстың минимал ені 8,0 м	12
5	Суару машинасы КО-713	1	Цистернаның сыйымдылығы 6,5 м ³ ; суарудың ені 20 м; бензинді двигатель – двигательдің қуаты 96 кВт	11,0

Қауіп және тәуекелді сараптау. Ұқсас кәсіпорындардағы апаттар мен ақаулар туралы мәліметтер (3-кесте).

3-кесте

Белгілі апаттар туралы мәліметтер (ақаулар)

№	Апаттар мен ақаулардың тізімі	Күні	Апаттар мен ақаулардың сипаттамалары
1	Қауіпті нысанда		Болған жоқ
2	Басқа да ұқсас нысандарда «ССГПО» АҚ Сарыбай карьері, карьер ішіндегі тиеу қоймасы	17.04. 2005 ж.	Қойманың қорғау валымен бірге қирауы салдарынан БелАЗ 75112 актокөлігінің тура эксковаторға құлауы. Апаттың себебіне технологиялық регламенттің бұзылуы жатады.

Апаттың туындау және өрбу жағдайлары

1) Апаттық ситуациялардың туындау және өрбуінің себептері

Апаттың туындауына әсер ететін факторлар:

- карьер нысандары параметрлерінің қалыптасуының технологиялық регламенттерінің бұзылуы;

- тиеу жұмыстарын орындау кезінде технология мен өндірістік қауіпсіздік ережелерінің сақталуын бақылаудың жетіспеушілігі;

- нысандарды, жабдықтарды эксплуатациялау ұзақтығы;

- конструктивтік-технологиялық факторлар;

- кен-геологиялық факторлар;

- табиғи және техногендік сипаттағы әсер етулер;

- эксплуатациялық факторлар;

- адам факторлары.

Жалпы жағдайда, карьереде орын алуы мүмкін апаттық ситуациялар мен инциденттердің туындауы мен дамуының ішкі алғышарттарына - себептеріне мыналар жатады:

- жабдықтың, техникалық құрылғының ақаулары мен істен шығуы;

- персоналдың қате іс-әрекеті;

- табиғи және техногендік сыртқы әсерлер.

Технологиялық жабдықтардың төменгі себептердің салдарынан жұмыс істемеуі:

- жабдықты дұрыс пайдаланбау немесе оның ақаулары;

- жабдық жұмысының апаттық режимі;

- техникалық тексеру және жоспарлы-алдын ала жөндеулер графиктерінің сақталмауы;

- жеке ғимараттардың қауіпті нысандарын жобалау және салу кезінде нормативтік талаптардың бұзылуы;

- жабдықтардың зауыттық ақаулары;

- жабдықтардың коррозиялары және физикалық тозуы немесе жабдықтардың температуралық деформациялануы;

- бақылау аспаптары мен автоматтардың дұрыс жұмыс істемеуі;

- жабдықтардың, ыдыстардың, құбырлардың, тығындау арматурасының жанармай материалдарымен жұмыс істеген кезде герметизациясының кетуі.

Персоналдың қате іс әрекеті:

- қауіпсіздік, техникалық эксплуатациялау, өрт қауіпсіздігі ережелерін, технологиялық регламенттерді, еңбек қорғау және техника қауіпсіздігі туралы қызметтік және өндірістік инструкцияларды, жабдықтардың, қондырғылардың және механизмдердің қауіпсіз әрі апатсыз жұмыс істеуін нақтылайтын басқа да нормативтік құжаттардың талаптарын орындамау;

- қауіпті өндірістегі жұмысқа, қауіпті жабдықтар мен механизмдерді қолдануға даярланбаған, аттестациядан, инструктаждан өтпеген адамдардың жіберілуі;

- жабдықтар мен қондырғылардың жұмыс режимінің бекітілген технологиялық нормаларының қатаң орындалуын бақыламау;

- тау-кен жұмыстарын жүргізудің жобалық параметрлерінен ауытқу;

- жөндеу және отпен байланысты жұмыстарды жүргізуге технологиялық жабдықтардың даярлықтарының сапасыздығы;

- жабдықтарды жөндеу және демонтаж жасау кезінде регламенттердің бұзылуы (механикалық зақымданулар; дөнекерлеу-монтаждау жұмыстарының ақаулары);

- жарылыс-өртқауіпті заттарды сақтау мен қорғаудың бекітілген жағдайлары мен тәртібінің бұзылуы;

- жұмыс функцияларына біліктіліктің сәйкес келмеуі, инженер-техникалық мамандардың құзіреттілігінің толық болмауы.

Табиғи және техногендік сыртқы әсерлер:

- найзағай разрядтары;

- көктемгі су тасқындары мен нөсер жаңбырлар;

- қар құрсауы (занос) және ауа температурасының төмендеуі;

- карьерге судың және ағындардың басып кіруі (прорывы);
 - тау-кен массивінде тектоникалық бұзылымдардың болуы.
- Өндірістік нысанда апаттың болу ықтималдылығын тудыратын жағдайлар:
- жабдықты сауатты пайдалану мен техникалық қадағалаудың болмауы;
 - уақтылы жөндеу мен тексерудің жүргізілмеуі;
 - технологиялық жабдықты қолданатын қызметкердің оларды пайдалану туралы инструкцияны және техникалық қауіпсіздік ережелерін сақтамауы;
 - күркіреу құбылыстары, найзағай;
 - жер сілкінісі;
 - су басу;
 - террористтік акт.

Тез тұтанғыш сұйықтармен жұмыс істегенде өрт пен жарылыстардың туындауының негізгі себептерін мынадай белгілер бойынша жіктеуге болады: ашық от, ұшқындар, статикалық токтың разрядтары, найзағай разрядтары, өздігінен тұтану, өздігінен жану. Оларды толық қарастырып, радиация кестесін былай құруға болады:

- *ашық от*: тұтанған сіріңке, шам, темекінің қалдығын резервуарлар, қондырғылар маңына тастау;
- *ұшқын*: болат құралмен жұмыс жасау, жөнделмеген электрожабдықты пайдалану, әртүрлі жолмен пайда болған басқа да ұшқындар;
- *статикалық электрдің разрядтары*: статикалық электр тогынан қорғану жүйесінің бұзылуы, мұнай өнімдерінің бетінде қалқып жүрген заттардың статикалық электр зарядын жинау қабілеттілігі, мұндай заттар резервуардың бүйіріне жақындаған кезде, ауамен жанасып, тұтанатын ұшқынды разряд беруі мүмкін, найзағай разряды да өрт пен жарылыс тудыруы мүмкін.
- *технологиялық себептер*: орнату кезінде құбырдың герметикалығы бұзылу салдарынан тау-кен жабдықтарында бүйірлік (торец) және сальникті тығыздағыштар, фланецті қосындылар, насос агрегатының тығын арматурасы арқылы мұнай өнімдері төгілу мүмкіндігі, жану процесінің кабельді каналдарда, аспап қалқанында пайда болу мүмкіндігі, бақылау және қуатты кабельдер істен шығуы;
- *табиғи катаклизмалар*: құйын желдер немесе нөсерлер электрмен жабдықтаудың және телефон байланысының үзілуіне әкеп соғуы мүмкін;
- *террористік актілер*: резервуарлардың, жабдықтардың толық бұзылуын тудыратын қасақана жарылыстар;

Басым жағдайларда апаттық ситуациялардың себептері адам факторына негізделген — құзіреттіліктің төмендігі, қызметтегі адамдардың жауапсыздығы, өндірістік және технологиялық тәртіптің бұзылулары, техника қауіпсіздігі мен жобалық шешімдердің қарапайым талаптарының орындалмауы, өндірістік тәртіп бұзушыларға үстіртін қараушылық;

2) Мүмкін болатын апаттардың сценарийлері:

1. Электр жабдықтарын пайдалану және жөндеу кезінде персоналдың электр тогымен зақымдалуы.

2. Карьерде дизельді технологиялық жабдықтарға жылжымалы жанармай станциялары арқылы жанармай құю кезінде туындайтын өрт.

3) Қауіпті заттардың саны.

«Ситал-2» ЖШС нысандарында апаттардың пайда болу мен өрбу жағдайларын сараптау негізінде қауіпті заттардың саны өндірістік циклде оларды пайдалану көлеміне тең екені анықталды: тау-кен көліктеріне құйылатын дизельді жанармай көлемі 10,0 тонна; бензин АИ-80 — 0,5 тонна.

4) Физикалық-математикалық модельдер мен есептеу әдістемелері (қауіпті бағалау үшін физикалық-математикалық модельдер мен есептеу әдістемелерін қолдануды негіздеу).

5) дизельді жанармайды жылжымалы жанармай станциясы арқылы құю кезіндегі апаттың жарылысын есептеу.

Скрепердің (тиегіштер, бульдозерлер) технологиялық бактарының герметикасын толық жойылғанда бірлік жабдықтан шығатын ашық түсті мұнай өнімдерінің максимал саны 1,0 тонна болады және 500 м² ауданмен шектеледі.

Төгілген мұнай өнімінің булану ауданы $F_{\text{и}}$ 500 м² болады. Төгілген мұнай өніміндегі тезтұтанғыш сұйықтан бөлінетін будың массасы мынаған тең:

$$G_{\text{п}} = W \cdot F_{\text{и}} \cdot T_{\text{п}},$$

мұндағы $T_{\text{п}}$ – толық булану уақыты, 3600 с; W – булану қарқыны, кг/с·м², анықтама және тәжірибе жүзінде немесе төмендегі формуламен анықталады:

$$W = 10^{-8} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}} = 1,12 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2, F_{\text{и}} = 500 \text{ м}^2.$$

$$\text{Онда } G_{\text{п}} = W \cdot F_{\text{и}} \cdot T_{\text{п}} = 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 3600 = 2016 \text{ кг.}$$

Төгілген мұнайдан болатын жанудың бу-газ фазасының жану энергиясы:

$$E'' = G_{\text{п}} \cdot q' = 2016 \cdot 40 \cdot 10^3 = 80,64 \cdot 10^6 \text{ кДж,}$$

мұнда $q' = 40 \cdot 10^3$ кДж/кг – тез тұтанғыш сұйық жануының орташа жылуы.

Жарылысқа қатысатын жанғыш будың массасы:

$$M_{\text{в}} = m \cdot Z,$$

мұнда Z – бу массаның жарылысқа қатысатын бөлігі.

Ауа массасы (жел) 1 м/с (штиль) жылдамдықпен қозғалатын ашық кеңістіктегі тез тұтанғыш сұйықтың ретсіз бу-ауа қоспасы үшін $Z = 0,02$ деп қабылданады.

Өндірістік бөлмедегі тез тұтанғыш және жанғыш сұйықтар үшін $Z = 0,3$. Сонда

$$M_{\text{в}} = m \cdot Z = 2016 \cdot 0,02 = 40,32 \text{ кг.}$$

Қарастырылған жағдай үшін жарылыс қаупінің жалпы энергетикалық потенциалын, берілген будың жалпы массасына шығатын Z қатысу коэффициентін ескергендегі, бу-газ фазасының толық жану энергиясына тең деп қабылдаймыз, мұнда бу-газ фазасының ашық жүйе жағдайында (қысым < 0,07 мПа) адиабатты кеңеюі ескерілмейді:

$$E = E_0 \cdot Z = 80,64 \cdot 10^6 \cdot 0,02 = 1,61 \cdot 10^6 \text{ кДж.}$$

Шамасы 46000 кДж/кг-тең үлес жану энергиясына шаққандағы жанғыш будың жалпы массасы төмендегі мәнге тең болады:

$$m = \frac{E_0}{4,6 \cdot 10^4} = \frac{1,61 \cdot 10^6}{4,6 \cdot 10^4} = 35 \text{ кг,}$$

яғни $M_{\text{в}} = 40,32$ кг шамасына жақын.

Жалпы массаға келетін ықтимал бұзылу радиусын $Q_{\text{в}}$ мен бұзылу радиусының $R_{\text{р}}$ жарылыс қаупінің энергетикалық потенциалына тәуелділік графигі бойынша анықтаймыз: $R_{\text{р}} = 5,2$ м. Эпицентрден осы радиуста жабдықтың бұзуы және персоналдың жарақаттануы мүмкін, бұл жарылыс қаупіне қойылатын талаптарды жоғарылату қажеттігін нақтылайды. Өрт қалқаны мен өртке қарсы құралдар, аймақшілік жолдар қауіпті нысандардан (көліктер) 10 м-ге тең қауіпсіз қашықтықта орналастырылады.

Энергетикалық потенциалдардың $Q_{\text{в}}$ қатысты шамалары мен бу-газ ортасының берілген массасы m бойынша карьердің қауіпті нысандарын санаттарға жіктейік. Категория көрсеткіштері 4-кестеде берілген.

4-кесте

Технологиялық блоктардың жарылыс қауіпті категориялары көрсеткіштері

Жарылыс қауіпті категориясы	$Q_{\text{в}}$	m , кг
I	> 37	> 5000
II	27 - 37	2000 - 5000
III	< 27	< 2000

Қатысты энергетикалық потенциалды мына формуламен анықтаймыз:

$$Q_B = \frac{1}{16,534} \sqrt[3]{E} = \frac{1}{16,534} \cdot 10^6 = 0,06 \cdot 117 = 7,07.$$

Карьердің қауіпті нысандары 4-кестеге сәйкес қатысты энергетикалық потенциал $Q_B = 7,02$ және бу-газ ортасының берілген массасы $m = 35$ кг бойынша III категорияға жатады. Сонымен, зерттеліп отырған нысанның жарылыс қауіптілігі минимал болып саналады.

Апат тәуекелін және төтенше жағдайларды бағалау

1) Апат пен төтенше жағдайдың салдарлары:

«Ситал-2» ЖШС қауіпті нысандарындағы апаттар мен төтенше жағдайлардың салдарлары төмендегідей сипатталады. Карьерде дизельді технологиялық жабдықтарға жылжымалы жанармай станциясы арқылы жанармай құю кездегі өрт – жабдықтың зақымдануын, күйік, жарақат алуды, сондай-ақ адам өлімін, төгілген дизельдік жанармаймен топырақтың, атмосфералық ауаның жану өнімдерімен ластануын тудырады. Өрт салдары аз болса да қоршаған ортаны ластайды: 5,2 м радиустағы топырақ пен грунт қабаты, жер беті және жер асты сулары, атмосфералық ауа ластанады. Дегенмен, аталған салдардың әсері топырақ пен грунт қабатының физикалық-химиялық құрамының өзгеруін, өсімдіктерде токсинді элементтердің жиналып бұзылуын, судың токсинді байланыстарға ұшырауын және адамдар мен жануарлардың ауруларға шалдығуын туғызбайды.

2) зақымдайтын негізгі факторлардың әсер ету аймағы:

– электр жабдықтарымен жұмыс істегенде және жөндеу кезінде – персоналдардың электр тогымен жарақаттануы электр жабдығымен жұмыс істеу аймағында болады;

– карьердегі дизельді технологиялық жабдықтарды жылжымалы жанармай станциясы арқылы жанармай құйғанда болатын өрт кезінде – төгілген дизель жанармайының көлемі мен өрттің таралу радиусына байланысты, біздің жағдайда бұл радиус 5,2 м тең.

Санитарлық-эпидемиологиялық ережелер мен «Өндірістік нысандарды жобалаудың санитарлық-эпидемиологиялық талаптарына» сәйкес нақтыланған санитарлы-қорғау аймағы, карьер территориясын қосып есептегенде 1000 м болады

3) Жарақаттанған адамдар саны:

– электр тогы соққанда жарақаттанғандар – 1 адам;

– карьерде технологиялық жабдыққа жылжымалы жанармай станциясы арқылы дизельді жанармай құйғанда мүмкін болатын өрт кезінде жарақаттанғандар саны 1-2 адам болуы мүмкін.

Қорытынды. Ақтөбе облысындағы Жоғарғы-Сазды кенорнында кірпішке жарамды сазды өндіру жұмыстарының қауіпсіздігі және оның қоршаған ортаға әсері минимал шамада, ал мүмкін болатын апаттардың салдары қауіпсіз аралықта болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Беляев Б.М. Безопасность систем с техникой повышенного риска // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях: ОИ/ ВИНТИ. – 2007. – №4. – С. 23-36, 112.
2. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. – М.: Химия, 1991.
3. Адушкин В.В., Когарко С.М., Лямин Л.Д. Расчеты безопасных расстояний при газовом взрыве в атмосфере // Взрывное дело. – 1975. – № 32. – С. 82-94.
4. Методике оценки последствий аварийных взрывов топливо-воздушных смесей». – М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 1993.
5. Маршалл В. Основные опасности химических производств: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989.
6. Баратов А.Н., Пчелинцев В.А. Пожарная безопасность. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1997.
7. Бесчастнов М.В., Соколов В.М. Предупреждение аварий в химических производствах. – М.: Химия, 1979.
8. Бобров И.А. Необходимое изменение обеспечения безопасности труда – переход к управлению риском // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – №1. – С. 46-50.

Қабылданды 3.11.2020

МРНТИ 38.57.01

А.Т. Акылбаева¹, М.А. Мизерная¹, А.П. Мирошникова², З.И. Черненко¹¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск²РГП НЦКПМС РК «ВНИИцветмет», г. Усть-Каменогорск**МАЛЫЕ И СРЕДНИЕ ЗОЛОТОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ
РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ЗОЛОТА ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА**

Золоторудные месторождения и рудопоявления характеризуются сравнительно большим разнообразием морфологических типов. Самыми распространенными, представляющими наибольший практический интерес, являются кварцево-жильный тип (большинство месторождений), тип минерализованных зон дробления и расщепления (Бакырчик, Ю.Ашалы и др.) и смешанный тип (Васильевское, Акжал, Ю.Ашалы и др.). Подчиненное значение имеют проявления типа березитизированных даек и штокверковые зоны, а также золото-лиственитовые месторождения. Однако интерес к данным месторождениям растет в связи с тем, что наряду с поиском новых крупных месторождений золота назрела необходимость пересмотра резерва средних и малых месторождений.

Алтын кен орындары мен кен көріністері морфологиялық типтердің салыстырмалы түрде алуан түрлілігімен сипатталады. Ең көп таралған, ең көп практикалық қызығушылық-кварцталшықты тип (кен орындарының көпшілігі), минералданған ұсақтау және стратификация аймақтарының түрі (Бақыршық, Ю. Ашалы және т.б.) және аралас тип (Васильевское, Акжал, Ю. Ашалы және т.б.). Березиттелген даек және штокверк аймақтары, сондай-ақ алтын-лиственит кен орындары типінің көріністері бағынышты мәнге ие. Алайда, бұл кен орындарына деген қызығушылық артып келеді, өйткені жаңа ірі алтын кен орындарын іздеумен қатар орта және шағын кен орындарының резервін қайта қарау қажеттілігі туындады.

Gold deposits and ore occurrences are characterized by a relatively large variety of morphological types. The most common of greatest practical interest are the quartz-vein type (most fields), type mineralized zones of crushing and cleavage (Bakyrchik, Y. Ashly, etc.) and mixed type (Vasil, Akzhal, Y. Ashly, etc.). Of secondary importance are the manifestations of the type beresitisation dikes and stockwork zone, as well as gold-listvenite field. However, interest in these deposits is growing due to the fact that along with the search for new large gold deposits, there is a need to review the reserve of medium and small deposits.

Ключевые слова: золоторудные месторождения, Восточный Казахстан.

Известно, что более половины всего золота Казахстана сосредоточено в средних (запасы от 25 до 100 т) и малых месторождениях. Освоение этих месторождений является весьма перспективным, тем более, что большая их часть расположена в районах с хорошо развитой транспортной и промышленной инфраструктурой. Среди данных месторождений преобладают месторождения жильного типа, золото-кварцевой формации. Руды этих месторождений обычно характеризуются сравнительно простым составом, и для их извлечения не требуются дорогостоящие технологии обогащения [2]

Баладжальский рудный район. Структурно-геологическая позиция района определяется участком сопряжения северной ветви Акжальского регионального и Чарско-Зимунайского глубинного разломов. Здесь на площади около 400 км² сосредоточено 8 золото-кварцево-жильных и золото-сульфидных березитовых проявлений, наиболее крупное из которых Баладжальское месторождение сопровождается золотоносной россыпью.

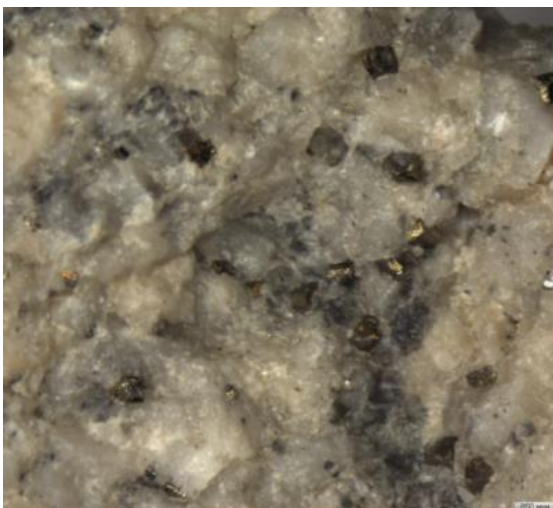
Золото-березитовый (баладжальский) тип. Золото-березитовый тип оруденения связан с мелкими массивами гранитоидов и дайками плагиигранит-порфиров позднекарбонного возраста. Характеризуется сочетанием штокверкового и жильного типов золотого оруденения в березитах. Наиболее перспективны апикальные части слабо вскрытых гранитоидных массивов в зонах альбитизации, серицитизации и окварцевания. Наиболее значимым объектом этого типа является месторождение Баладжал с бедным (до 5 г/т) золотым оруденением (рис. 1).



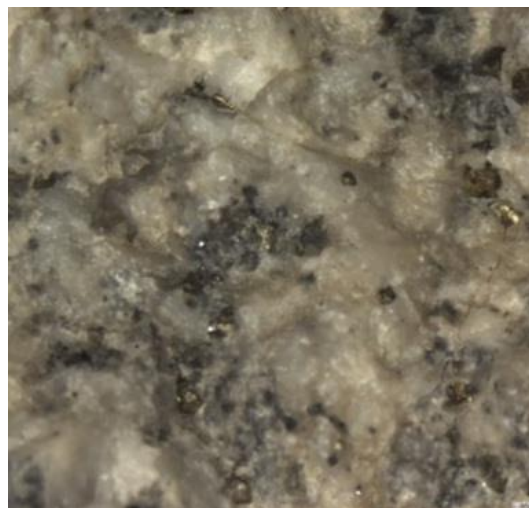
а



б



в



г

Рисунок 1 – Золотосодержащие березиты месторождения Баладжал: а – березиты с пиритом; б – прожилки пиритов в березитизированных породах (полировка); в – рассеянная вкрапленная минерализация (золотоносные пириты); г – прожилково-вкрапленная минерализация месторождения Баладжал

Другим примером месторождений, связанных с березитизированными породами, является месторождение Жерек. Месторождение расположено в Мукурской зоне. Здесь четко выявляется связь золотого оруденения с магматическими породами, рудные тела приурочены к березитизированной дайке плагиигранитов. Выделяются зоны окварцевания, серецитизации, пиритовой минерализации. Отмечаются прожилки антимонита (рис. 2). Минерализация представлена пиритом, арсенопиритом, самородным золотом, блеклой рудой, сфалеритом, халькопиритом, марказитом, самородным серебром. Из нерудных – рутил, кварц, карбонаты, серицит, хлорит. Содержания золота колеблются до 3,5. Минералы-концентраторы золота – пирит, арсенопирит. Распределение золота неравномерное, столбовое. До глубины 50 м хорошо развита кора выветривания.

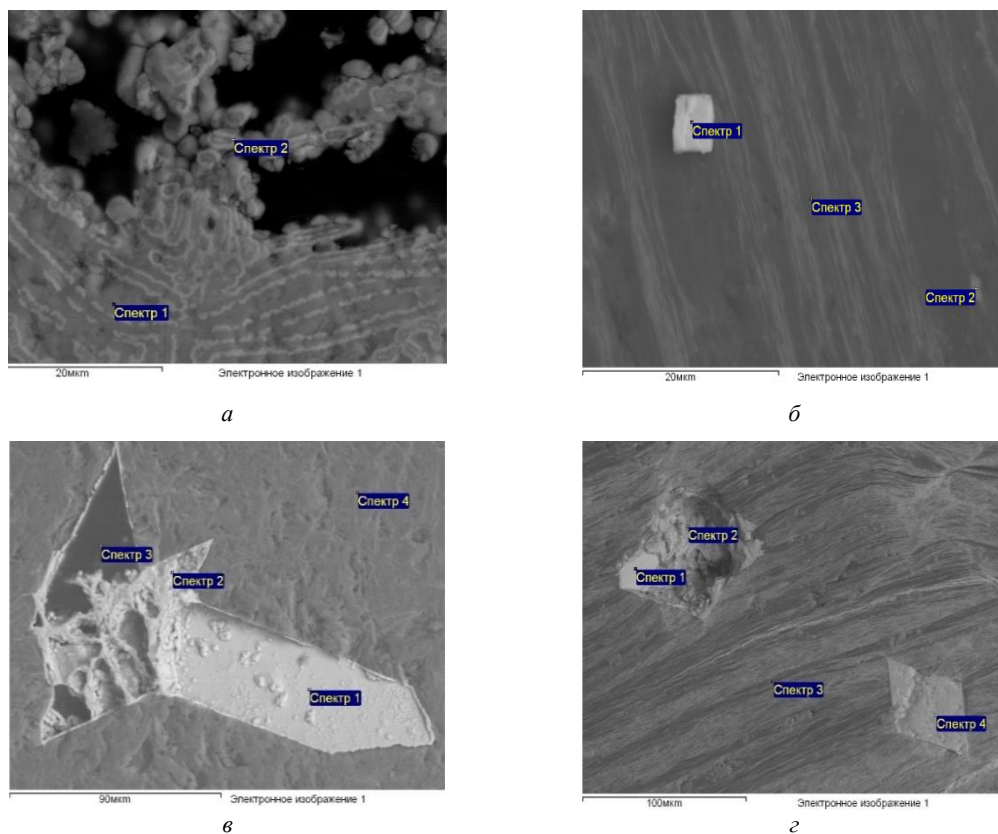


Рисунок 2 – Месторождение Жерек (электронно-микроскопические снимки, лаборатория Veritas):
а, б, в – кристаллы антимонита; з – галенит

Золото-лиственитовый тип месторождений. Месторождение Маралиха является примером золото-лиственитовой формации. Расположено на Южном Алтае, в пределах Курчум-Кальджирского тектонического блока Иртышской зоны смятия (рис. 3).

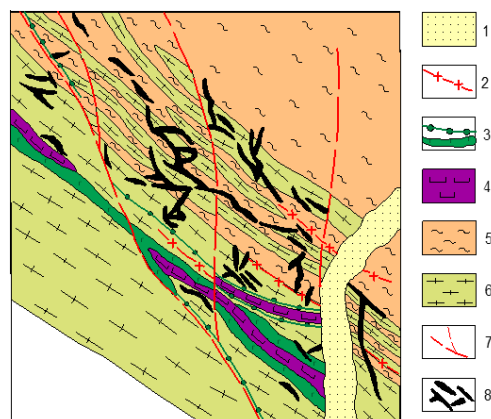


Рисунок 3 – Геологическая схема месторождения золота Маралиха (по материалам Н.И. Бородаевского и др.): 1 – современные речные осадки: галечники, пески; 2 – дайки гранит-порфиров; 3 – дайки габбро, габбро-диабазов; 4 – аподунитовые серпентиниты; 5 – кварц-серецит-хлоритовые, хлорит-кварцевые, биотит-плагиоклаз-кварцевые, хлорит-полевошпат-кварцевые сланцы; 6 – амфиболиты; 7 – разломы; 8 – золото-сульфидно-кварцевые и кварц-карбонатные жилы

Рудовмещающими являются кварц-серицит-хлоритовые, кварц-биотит-серицитовые, биотит-плагиоклаз-кварцевые, кварц-полевошпатовые и другие кристаллические сланцы и амфиболиты (рис. 4, а-г), вмещающие линзовидные тела серпентинитов (по дунитам и перидотитам), линейные интрузии аподиабазов, дайки габброидов, диабазовых порфиров и протрузиями серпентинизированных гипербазитов, выжатых в процессе складчато-надвиговых деформаций среднегерцинской коллизионной стадии.

В результате этих процессов на месторождении образовались штокверковые кварц-лиственитовые зоны с избирательной приуроченностью золото-сульфидного оруденения к полосам амфиболитовых сланцев с образованием в них (в узлах пересечения трещин разных направлений) рудных столбов (Au более 10-30 г/т).

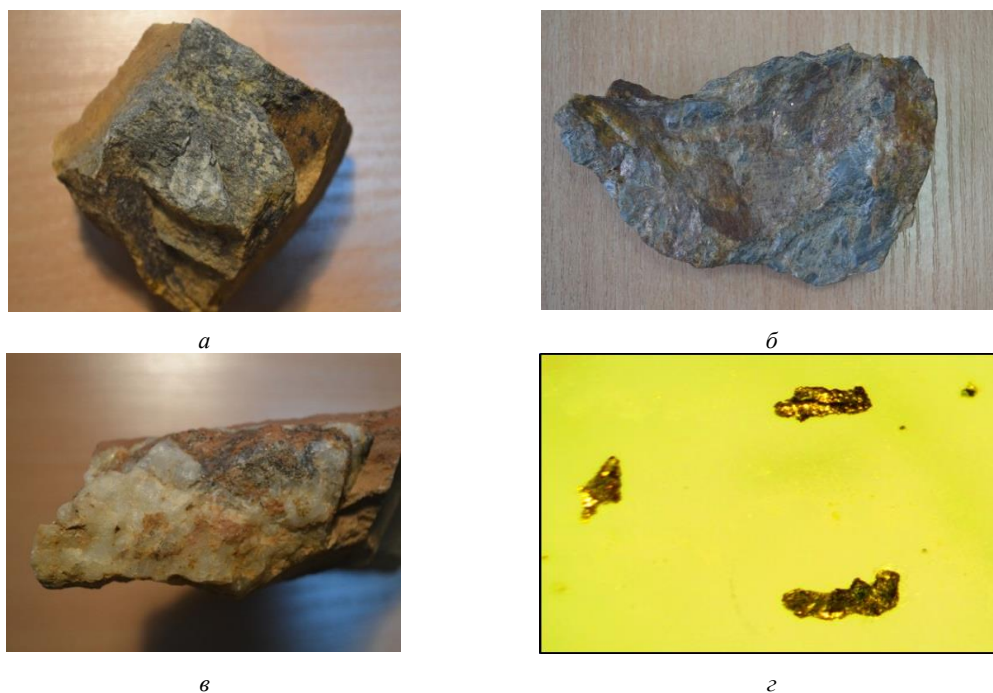


Рисунок 4 – Золотосодержащие породы и самородное золото золото-лиственитового месторождения Маралиха: а – кора выветривания; б – амфиболит; в – кварцевые прожилки в ливенинтах; г – свободное золото

Морфология рудных тел изменяется от простых жил до сложно ветвящихся жильных зон и штокверков; мощность их варьирует от 0,2 до 3 м. Оруденение прожилково-вкрапленное, главные рудные минералы – пирит, арсенопирит и золото; второстепенные – халькопирит, сфалерит, галенит, ильменит, магнетит, блеклая руда. Из жильных характерны кварц, анкерит, доломит и кальцит. Золото в кварцевых жилах свободное (размером до 2-3 мм), образует сростки с галенитом и блеклыми рудами, в ливенинтах – тонкодисперсионное, связанное с пиритом, арсенопиритом и магнетитом. Установлены положительные связи золота в березитах с Ti (+0,83), Ag (+0,81), Ni (+0,63), в амфиболитах с Mo (+0,49), а в рудных кварцевых жилах – с Ag (+0,82), As (+0,75) и другими элементами. По данным электронной микроскопии в рудах обнаружены микровключения пирита, арсенопирита, циркона, монацита, иридиеносного минерала иттриевой группы, окисного никелевого минерала (арупита), тетраэдрита и золота.

По результатам масс-спектрометрии изученные разновидности пирита кубической и более сложной форм являются золотоносными, содержащими (г/т): Au (2,29-12,23), Ag (1,92-15,5) и Sb (43,98-467), а также халькофильные и сидерофильные элементы с максимальными значениями Cu

(8320), Zn (1638), Pb (5967), Cr (1200), Ni (1153), Co (624), Ti (4530) и др. Среди редких элементов в пиритах повышены содержания Ta, Nb, Sn, W, в отдельных зернах – Li (123), Rb (130), Cs (382). Характерны примеси петрогенных компонентов – Mg, Al, Na, Ca (рис. 5).

Выделяются также зоны магнетитовой минерализации повышенной золотоносности в контактах кристаллических сланцев и амфиболитов – индикаторы скрытого золото-сульфидного оруденения.

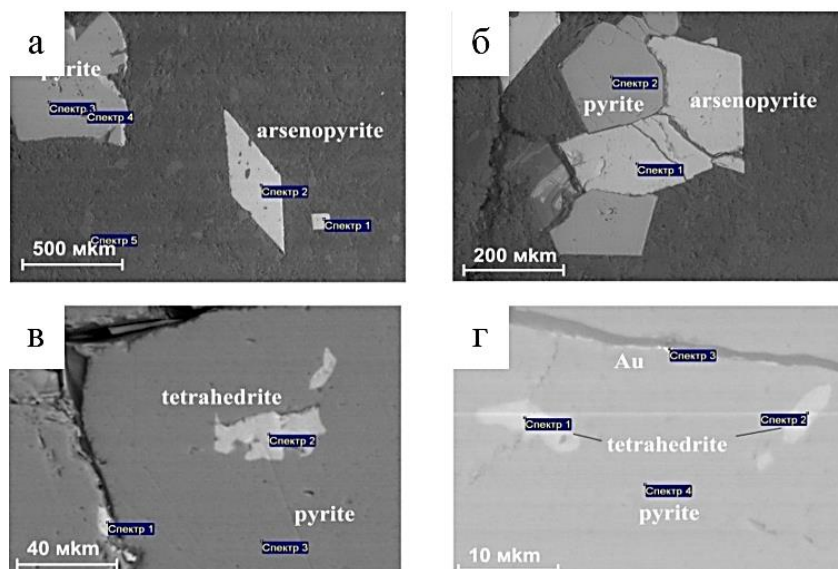


Рисунок 5 – Микровключения минералов в ливенитах месторождения Маралиха:
а – микрозерна пирита и арсенопирита; б – сросток зерен пирита и арсенопирита; в – микровключения тетраэдрита в пирите; г – тонкодисперсное золото и вкрапленность тетраэдрита в пирите

По новым представлениям месторождение Маралиха сформировалось в сложной геодинамической обстановке в результате сочленения Зайсанской сутурной зоны и Иртышской зоны смятия [5, 6]. Главное рудоконтролирующее значение придается стволу зоны северо-западного глубинного разлома с протрузиями серпентинизированных гипербазитов докембрия, выжатых в процессе складчато-надвиговых деформаций среднегерцинской коллизионной стадии. В это время при сжатии и сдвиге блоков выдавливались пластины серпентинитового меланжа, формировалась сложная система складчатых и разрывных, что сопровождалось метаморфогенно-гидротермальным изменением вмещающих пород, привнесом рудоносных гидротермальных флюидов и образованием золотосодержащих руд. В результате этих процессов на месторождении образовались штокверковые кварц-лиственитовые зоны с избирательной приуроченностью золото-сульфидного оруденения к полосам амфиболитовых сланцев с образованием в них в узлах пересечения трещин разных направлений рудных столбцов (Au более 10-30 г/т).

Месторождение характеризуется крайне неравномерным распределением золота; находилось в эксплуатации. По материалам геологоразведочных работ запасы золота составляли порядка восьми тонн. С учетом представлений о надвиговой природе рудного поля, рудоконтролирующей роли северо-западного глубинного разлома и его оперяющих нарушений, значительного вертикального размаха оруденения до глубины 400 м (с содержанием золота 5-7 г/т) и результатов геофизических работ, целесообразна доразведка месторождения до глубины 300-500 м.

Список литературы

1. Лузин Б.С. Экономические проблемы золотодобывающей промышленности: монография. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2002. – 192 с.

2. Сырьевая база и проблемы золотодобычи в Казахстане: Каталог Минералов [Web-ресурс]. – (<http://www.catalogmineralov.ru>).
3. Нарсеев В.А., Рафаилович М.С., Дьячков Б.А. Золоторудный потенциал Центральной Азии: Мат. межд. симпозиума «Гигантские месторождения золота Центральной Азии. Укрепление золоторудного потенциала Казахстана». – Алматы, 2014. – 200 с.
4. Металлогенические системы Казахстана: предпосылки образования, пространственная структура, процессы формирования и закономерности размещения рудных объектов / А.М. Мысник, Б.А. Дьячков, Н.И. Стучевский и др.: Отчет по теме. – Усть-Каменогорск-Алматы, 2002. – 552 с. – (Фонды ТОО «АГЭИ»).
5. Рафаилович М.С., Мизерная М.А., Дьячков Б.А. Крупные месторождения золота в черномсланцевых толщах: условия формирования, признаки сходства. – Алматы, 2011. – 272 с.
6. Нарсеев В.А., Гостев Ю.В., Захаров А.В. и др. Бакырчик: геология, геохимия, оруденение. – М.: ЦНИИГРИ, 2001. – 174 с.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 38.33.19

Б.Б. Амралинова, А.Т. Акылбаева, Б.Б. Ағалиева, О.В. Фролова, И.Е. Матайбаева
Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ГЕОХИМИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ОЗЕР БУРАБАЙСКОГО МАССИВА

В данной статье авторами рассмотрен химический состав поверхностных вод озер в пределах Бурабайского массива Курчумского района Восточно-Казахстанской области. Большая протяженность гидрографической сети и заозеренность территории привлекают внимание многих исследователей. Условия формирования химического состава водных объектов зависят от многих природных факторов (климатические особенности, особенности рельефа, интенсивность водообмена, характер геохимической среды и т.д.).

Бұл мақалада авторлар Шығыс Қазақстан облысы, Күршім ауданының Бурабай массивіндегі көлдердің жер үсті суларының химиялық құрамын қарастырды. Гидрографиялық желінің үлкен ұзындығы және аумақтың тығыздығы көптеген зерттеушілердің назарын аударады. Су объектілерінің химиялық құрамын қалыптастыру шарттары көптеген табиғи факторларға байланысты (климаттық ерекшеліктер, рельефтің ерекшеліктері, су алмасудың қарқындылығы, геохимиялық ортаның сипаты және т. б.).

In this article, the authors considered the chemical composition of surface waters of lakes within the Burabay massif of the Kurchum district of the East Kazakhstan region. The large extent of the hydrographic network and the lake-like nature of the territory attracts the attention of many researchers. The conditions for the formation of the chemical composition of water bodies depend on many natural factors (climatic features, terrain features, the intensity of water exchange, the nature of the geochemical environment, etc.).

Ключевые слова: озера, геохимический состав, Восточный Казахстан, редкие металлы.

Введение. Особенности природных условий и факторы, влияющие на формирование химического состава поверхностных и подземных вод, слабо изучены. Постоянно меняющиеся условия геохимической обстановки, а также активная деятельность человека при освоении новых территорий вносит свои коррективы в естественные природные условия окружающей среды.

Район в пределах Бурабайского массива характеризуется хорошо и равномерно развитой гидрографической сетью с многочисленными озерами и болотами (рис. 1).

В ходе экспедиционных исследований 2020 года была проведена оценка гидрохимического состояния водных объектов.

В процессе исследований на исследуемой территории было выделено 15 озер, взятых за основу для изучения содержания и изменения ключевых параметров и компонентов, определяющих геохимический облик территории исследований. На исследуемой территории формирование гидрохимического состава поверхностных вод происходит под влиянием природно-климатических условий.

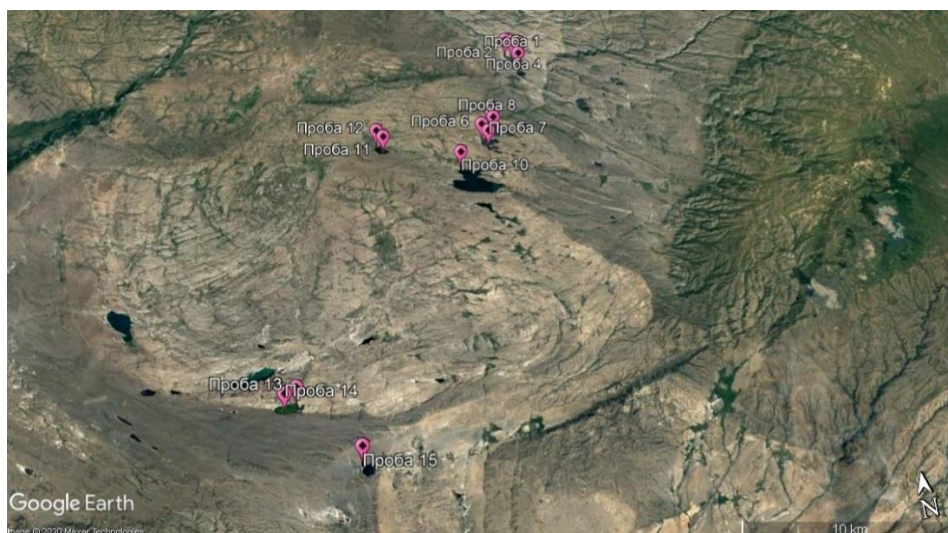


Рисунок 1 – Исследуемые объекты в пределах Бурабайского массива с точками отбора проб

Следует отметить ряд особенностей озер данного района. Заболоченность водосборов способствует накоплению в поверхностных водах широкого спектра органических веществ – продуктов неполной деструкции растительного опада. Присутствие в природных водах промежуточных продуктов разложения растительной биомассы определяет слабокислую реакцию среды, что благоприятствует повышению подвижности ряда металлов в составе органоминеральных комплексов. Результатом этого может являться превышение в водных объектах предельно допустимых концентраций (ПДК), установленных для вод водоемов рыбохозяйственного и хозяйственно-питьевого назначения, в том числе железа, алюминия, марганца, меди, цинка и редких металлов. При проведении экспедиционных исследований гидрохимический состав определялся по более чем 20 основным показателям, в том числе: pH, минерализация, содержание калия, натрия, магния, ионов аммония, нитритов, нитратов, фосфатов, кремния, алюминия, меди, железа, свинца, цинка, никеля, кадмия, марганца и редких металлов [1].

Кривые распределения микрокомпонентов в логарифмическом масштабе (рис. 2) показывают в целом синхронное изменение содержания микрокомпонентов в озерах.

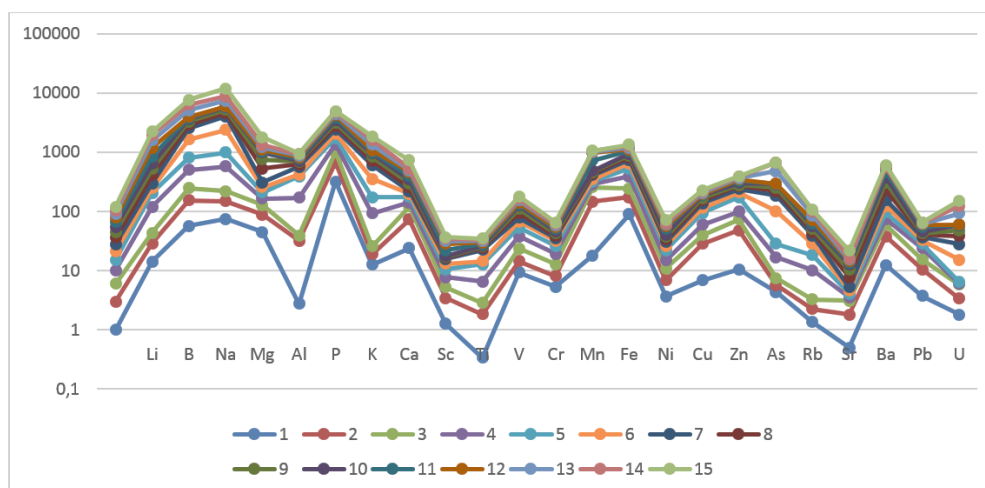


Рисунок 2 – Содержание микрокомпонентов озер Бурабайского массива

При анализе графиков распределения абсолютного содержания микрокомпонентов было установлено, что все пробы обогащены натрием, фосфором, железом, магнием и барием. В результате проведенных исследований установлено, что в целом гидрохимический состав озерных вод 1-10, 13-15 существенных отличий не имеет, по классификации О.А. Алекина [2] относятся к гидрокарбонатному классу, группы кальция первого типа:

I. $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$

Воды типа I образуются в процессе химического выщелачивания изверженных пород или при обменных процессах ионов кальция и магния на ион натрия. Чаще всего они маломинерализованные, исключение составляют воды бессточных озер.

Гидрохимический состав озерных вод 11 и 12 существенно отличаются и по классификации О.А. Алекина относятся к сульфатному классу, группы натрия второго типа:

II. $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$

Воды типа II являются смешанными. Их состав может быть связан генетически как с осадочными породами, так и с продуктами выветривания изверженных пород. К этому типу относится вода большинства рек, озер и подземные воды с малой и умеренной минерализацией.

Кроме того, озерные воды характеризуются щелочной реакцией среды (в среднем $\text{pH} = 8,71$).

При этом минерализация водных объектов варьирует от 0,5 до 9 г/дм³. В то же время в большинстве обследованных объектов по показателю «общая жесткость» поверхностные воды объектов 1-5, 8, 9, 13-15 относятся к категории средней жесткости (4-8 мг-экв/л), а воды объектов 6, 7 и 10-12 относятся к категории очень жесткая вода (более 12 мг-экв/л). Установлена неоднородность поверхностных вод по анионному составу и их принадлежность к гидрокарбонатному и хлоридному классам. Результаты проведенных исследований выявили преобладание ионов натрия в катионном составе поверхностных вод большинства водных объектов [3].

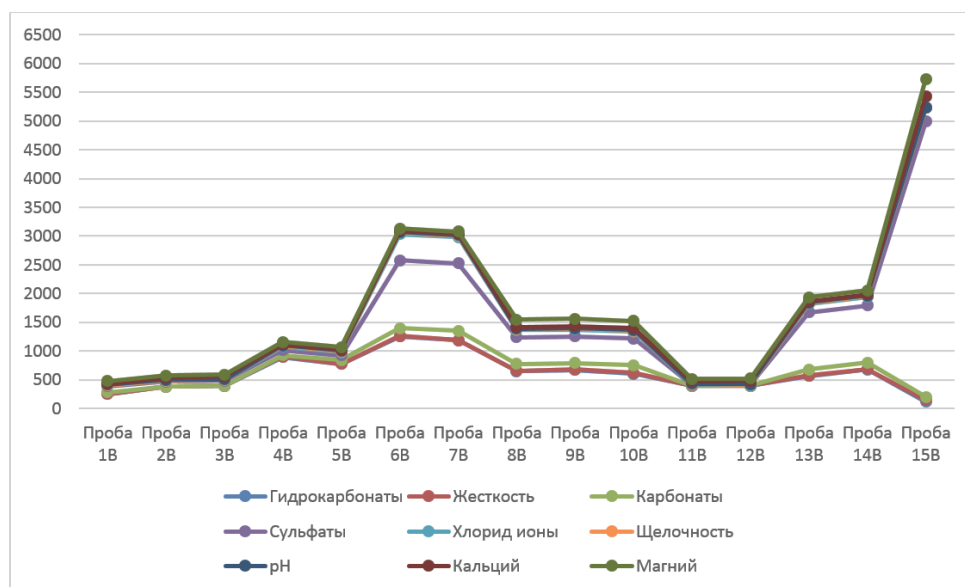


Рисунок 3 – Состав и физические свойства вод озер Бурабайского массива

Результаты анализов также показали, что концентрации ионов магния лежат в пределах от 0,3 до 1,4 г/дм³, а ионов кальция – от 0,2 до 0,5 г/дм³. Наименьшим содержанием в поверхностных водах территории исследований характеризуются ионы калия (от 0,05 до 1,1 г/дм³). Территориальные различия по содержанию катионов в водах выражены слабо.

Исследуемая площадь приурочена к контакту отложений бурабайской свиты с гранодиоритами первой фазы калбинского комплекса. Здесь фиксируются две комплексные редкометальные аномалии: северная (площадь около 12 км²) и южная (площадь около 5 км²). Первая характеризуется

содержаниями ниобия 0,0008-0,002 %, висмута 0,0002-0,0005 %, бериллия 0,0005-0,0008 %, лития 0,0015-0,002 %, олова 0,001-0,0015 %. Вторая состоит из трёх локальных ореолов бериллия 0,0005 %, олова 0,001-0,0012 % и лития 0,002-0,008 %, объединённых ореолом бериллия 0,0003-0,0004 %.

Учитывая рекомендации предшественников (Лопатников В.В., 1985 г.), довольно значительную насыщенность описываемой площади мелкими (хоть и малоконтрастными) ореолами, а также локализацию в пределах поля нескольких точек минерализации танталита-колумбита, касситерита и берилла (участок Придорожный) и близость Чердожского олово-вольфрамового месторождения, АГП(в)-24 представляет несомненный практический интерес.

Полученные в ходе исследований результаты по озерам 8-10 показали высокие содержания лития 366,20 мкг/л, олова 0,047 мкг/л, что соответствует материалам предыдущих исследований территории на редкометалльное оруденение [4].

Результаты исследования вод не позволяют на настоящем этапе однозначно ответить на все вопросы о формировании геохимических особенностей. Особенности микрокомпонентного состава вод озера Бурабайского массива дают основание предположить, что вероятным источником редких металлов и других микрокомпонентов в них являются ореолы, а также локализация в пределах исследуемого участка нескольких точек минерализации танталита-колумбита, касситерита и берилла.

Список литературы

1. Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Материалы III Всероссийской научной конференции с международным участием. – Чита, 2018.
2. <http://abratsev.ru/hydrosphere/classific.html>
3. Гавич И.К., Семенов С.М., Швецов В.М. Методы обработки гидрогеологической информации с вариантами задач. – Москва: Высшая школа, 1981 г.
4. Отчет о результатах «Геологического доизучения Зайсанской серии – ГДП-200 на листах М-45-XXV, XXXI».

Получено 3.11.2020

МРНТИ 43.01.05

Б. Апшикур¹, Т.Т. Ипалаков¹, А.К. Капасов¹, М.М. Алимкулов²

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

²АО «КазАТК» им. М. Тынышпаева, г. Алматы

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

В статье приведены теоретические основы метода конечных элементов и предложен алгоритм расчетов напряженно-деформированного состояния земляного полотна. В дальнейшем на его основе можно выполнять различные расчеты земляного полотна, усиленного геосинтетическими материалами или армированного геосеткой, которые будут давать более равномерное (по сравнению с типовой конструкцией) распределение напряжений на основной площадке, что исключает опасные зоны для развития недопустимых остаточных деформаций, в частности, при неблагоприятном сочетании эксплуатационных факторов.

Мақалада элементтердің соңғы беріктігін анықтау әдісінің теориялық негіздері келтірілген және жер төсемінің кернеулі-деформацияланған күйін есептеудің алгоритмі ұсынылған. Одан әрі оның негізінде, негізгі алаңдағы кернеуді неғұрлым біркелкі (типтік құрылыммен салыстырғанда) бөлуді қамтамасыз ететін және осы арқылы жол берілмейтін пайдалану факторларының қолайсыз үйлесуі кезіндегі, қалдық деформациялардың дамуы барысындағы қауіпті аймақтарды болдырмайтын, геосинтетикалық материалдармен күшейтілген немесе геосеткамен арматураланған жер төсемесінің әртүрлі есептерін орындауға болады.

The article presents the theoretical foundations of the finite element method and proposes an algorithm for calculating the stress-strain state of the roadbed. In the future, on its basis, it is possible to perform various calculations zempolotna reinforced geosynthetic materials or reinforced geogrid, which will give a more uniform (compared to the standard design) stress distribution on the main site, which eliminates hazardous areas for the development of unacceptable residual deformations, in particular, with an unfavorable combination of operational factors.

Ключевые слова: напряженно-деформированного состояния земляного полотна, метод конечных элементов, георешетка, геосетка, основная площадка земляного полотна.

В силу своих особенностей, одним из наиболее эффективных методов расчета НДС в различных задачах механики деформируемого тела является метод конечных элементов (МКЭ). Этот метод – вариационный.

Первое формальное изложение МКЭ дано в 1956 году Тэрнером, Клафом, Мартином и Топпом [1]. При исследовании задачи о плоском напряженном состоянии они использовали для описания свойств треугольного конечного элемента уравнения классической теории упругости. Сам термин «конечные элементы» был введен в 1960 г. Клафом [2]. В последующие годы о методе конечных элементов были написаны сотни статей, в которых совершенствовался сам метод, и открывались новые области его применения [3-6].

МКЭ или, по крайней мере, его принципы, известен уже более полувека, но настоящее признание он получил лишь с развитием современных средств информатики. В настоящее время в мире публикуется значительное количество научных работ, посвященных дальнейшему развитию и применению МКЭ в прикладных задачах. В качестве примера можно упомянуть журнал «Communications in Numerical Methods in Engineering» и ряд других журналов.

Суть МКЭ состоит в замене математической модели исследуемого процесса или объекта системой алгебраических уравнений. Большинство математических моделей содержит систему дифференциальных или интегральных уравнений относительно тех функций от координат и времени, которые являются важнейшими характеристиками исследуемого процесса. При применении МКЭ исследуемый объект условно разбивается на небольшие части – конечные элементы, вплотную прилегающие друг к другу и шарнирно скрепленные между собой в вершинах этих элементов. Каждый элемент включает некоторое количество узловых точек. Целью метода является вычисление искомых функций в этих узлах. Таким образом, МКЭ заменяет анализ сложной модели более простой задачей решения алгебраической системы, которая может содержать достаточно большое число неизвестных.

Форма элементов может быть различной и зависит от формы рассматриваемой области или ее участков. Для плоской задачи наиболее простые решения получаются при треугольной или прямоугольной форме элементов, для пространственной – элементы могут выбираться в виде параллелепипедов, тетраэдров или иметь более сложную форму.

Сплошное тело, разделенное на элементы, обладает значительно большей податливостью, что ведет к искажению распределения напряжений и деформаций. Для того чтобы этого не происходило, необходимо ввести определенные условия, приводящие к идентификации напряженно-деформированного состояния тела, разделенного на элементы, и такого же сплошного тела. Это достигается требованиями выполнения условия сплошности, в частности, на границах между элементами. Т.е. разделение сплошной среды на элементы в МКЭ не сопровождается ее разрезом, элементы не являются отдельными кусками, а лишь выделяются из сплошной среды для рассмотрения в них напряженно-деформированного состояния. Таким образом, сплошная среда после разделения на элементы не теряет своего основного качества, т.е. остается по-прежнему сплошной, состоящей из отдельных двухмерных или трехмерных элементов конечных размеров. В этом основное отличие физических положений МКЭ от методов, основанных на стержневых аналогиях.

В общем случае среда может быть неоднородной по своим механическим свойствам. Однако разбиение на элементы следует производить так, чтобы в пределах каждого элемента участок среды можно было бы рассматривать как однородный. Причем любой другой элемент, оставаясь так же однородным, может характеризоваться показателями механических свойств, отличных от остальных. Таким образом, система элементов будет в целом представлять неоднородную среду.

МКЭ позволяет с некоторой степенью приближения рассчитывать напряженно-деформированное состояние среды при отклонении зависимости «напряжение-деформация» от линейной. Решение осуществляется путем последовательного приближения: в каждом приближении среда рассматривается как линейно деформируемая, а ее параметры корректируются в зависимости от напряжений, действующих на отдельных участках.

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial \{U\}} = \sum_{n=1}^N ([k]\{U\} - \{F\}) = 0, \quad (1)$$

здесь:

- матрица $\{F\}$ – вектор, состоящий из $3N$ членов, являющихся компонентами сил, приложенных к узлам элементов, называемый вектором узловых сил;
- матрица $\{U\}$ – вектор, состоящий из $3N$ компонентов перемещений узлов элементов, называемый вектором узловых перемещений;
- матрица $[k]$ – квадратная матрица порядка $3N$, связывающая узловые силы и узловые перемещения, называемая обобщенной матрицей жесткости системы.

Это и есть основное матричное уравнение метода конечных элементов. Таким образом, задача теории упругости сводится к решению системы уравнений (1). При этом система (1) – нормальная, т.е. матрица жесткости системы симметричная и положительно определенная, кроме того, она имеет ленточную структуру и сильно разрежена. Все это делает МКЭ легко реализуемым на ЭВМ.

При практических расчетах во многих случаях оказывается возможным ограничиваться решением плоской задачи теории упругости, рассматривая объект, как работающий в условиях плоской деформации или плоского напряженного состояния. Это ведет к упрощению расчета методом конечных элементов. Общий вид основного уравнения сохраняется, однако снижается порядок матриц, входящих в это уравнение. Так как в каждом узле элементов в случае плоской задачи приложены уже не по три, а по две компоненты внешних сил и перемещений, порядок матриц $\{F\}$, $\{U\}$, $[k]$ будет уже не $3N$, а $2N$, где N – количество узлов.

За последние годы методы работы исследователей изменились коренным образом благодаря развитию информатики и численных методов анализа. Численные методы сделали возможным решение сложных задач для самых сложных физических моделей. С появлением компьютеров интерес к дискретному представлению объектов существенно возрос и в наши дни численные методы и программы их компьютерной реализации составляют единое целое в системах автоматизации научных исследований и автоматизированного проектирования. Широкое распространение получили также интерактивные программы графического представления информации, позволяющие более компактно описывать геометрические и физические свойства объектов по сравнению с классическими методами.

Промышленные коммерческие комплексы с использованием метода конечных элементов представлены весьма внушительным списком (из зарубежных – ANSYS, ADINA, ABAQUS, ALGOR, COSMOS, FINEL, NASTRAN, MARC, PLAXIS и др., из «российских» – ПИОНЕР, ЛИРА, МИРАЖ, МОРЕ, ПАРСЕК, ПАРУС и др.). Тем не менее, в нашей стране легальное использование этих продуктов является для подавляющего большинства проектных и научно-исследовательских организаций экзотикой и может быть расценено скорее как исключение. Помимо чисто экономических аспектов, следует отметить ориентацию этих комплексов на некую усредненную (усеченную) универсальность – попытка удовлетворить запросы специалистов из весьма отдаленных областей. При этом, например, некоторые подходы, вполне приемлемые в области машиностроения, могут оказаться недостаточными или даже неверными для проблем механики грунтов. Очевидно, в любой области имеются свои специфические особенности и их учет в полном объеме в пределах одного, даже очень мощного комплекса – задача технически неразрешимая. И в этом смысле представляется не случайным тот факт, что по результатам анализа материалов IV Всемирного конгресса по численной механике [7] и III Международной конференции по развитию компьютерных методов в геотехническом и геоэкологическом строи-

тельстве [8] большинство исследовательских организаций ведет разработку собственных программных продуктов. Разумеется, они, как правило, уступают коммерческим комплексам по возможностям, универсальности, качеству интерфейса и т.д. (см. программы Z-SOIL, PLAXIS, ЗЕНИТ и др.). Однако при этом они обладают и весьма важными преимуществами: их можно относительно легко настроить на решение специфических задач и процесс их модификации существенно проще. Ключевыми понятиями в программах, реализующих метод конечных элементов, являются: узел (точка); конечный элемент; функция формы, через которую выражаются координаты и которая определяет аппроксимацию неизвестных на элементе; производные функций формы; локальная матрица жесткости элемента; глобальные матрицы (жесткости, демпфирования, теплопроводности и др.); модели (определяющие уравнения); векторы; тензоры; дифференциальные операторы и др.

Современные программы метода конечных элементов могут успешно служить аппаратом математического (или численного) моделирования процессов, протекающих в грунтах железнодорожного земляного полотна под воздействием различных нагрузок, позволяют проследить процесс деформирования и развития зон предельного состояния грунта, получить полную картину напряженно-деформированного состояния исследуемой области, определить величины предельной нагрузки, осадки и т.д.

В Казахстане в последние годы значительные исследования в области моделирования процессов, протекающих в грунтах железных и автомобильных дорог под воздействием различных нагрузок, выполнены Ержановым Ж.С., Айталиевым Ш.М., Масановым, Исаенко Э.П., Уразбековым А.К., Исахановым Е.А., Телтаевым Б.Б., Хасеновым С.С. Косенко С.А., Ауесбаевым Е.Т и др.

В настоящее время имеются мощные персональные компьютеры и специальное диагностическое оборудование для получения распределений параметров грунтов в массиве, которые позволяют решать трехмерные задачи оценки напряженно-деформированного состояния грунтов в железнодорожных насыпях и выемках. Профессор Исаенко Э.П. совместно с Васильевым С.П. [9] разработал трехмерные математические модели железнодорожного земляного полотна (рис. 1), которые прошли успешную проверку на Горьковской железной дороге [10].

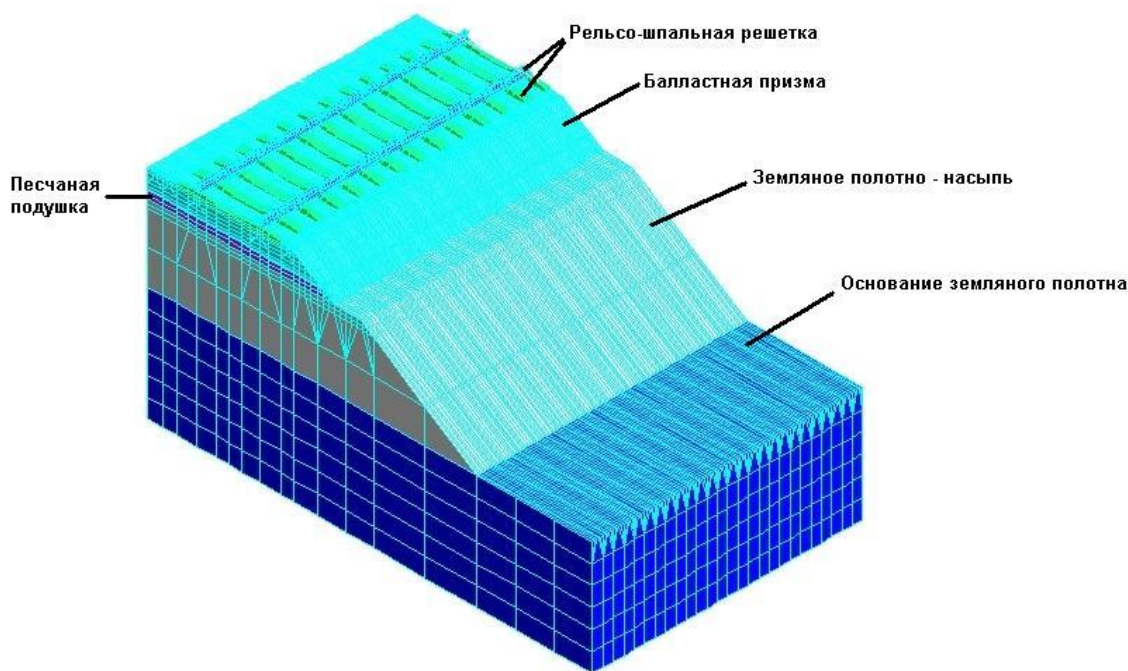


Рисунок 1 – Осесимметричная конечно-элементная модель участка железнодорожного пути (двухпутная линия)

Расчет напряженно-деформированного состояния земляного полотна методом конечных элементов предусматривает выполнение ряда операций:

1. Разработка расчетной схемы;
2. Программирование задачи для решения на ЭВМ и реализация решения;
3. Предварительное представление результатов;
4. Повторные решения;
5. Окончательное представление результатов.

Очевидно, что для успешного решения задачи расчета напряженно-деформированного состояния большое значение имеют тип принимаемой расчетной схемы и порядок идеализации ею реального геотехнического сооружения. Расчетная схема рассматривается как совокупность граничных условий, внешних и внутренних воздействий, свойств материалов и называется конечно-элементной моделью. Элементами конечно-элементной модели в общем виде являются любые объекты, которые могут участвовать в расчете или просто должны быть изображены на схеме, как вспомогательные условные обозначения. Элементы конечно-элементной модели, участвующие в расчете, должны быть способны самостоятельно воспроизводить графически результаты решения или передавать их постпроцессору для построения графиков и изолиний.

Основные положения и алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния земляного полотна. Расчет напряженно-деформированного состояния земляного полотна, учитывающего наличие в конструкции пути армирующего слоя геоматериала, основывается на следующих положениях:

1. Грунт является нелинейно деформируемой средой, но диапазон действующих нагрузок, а также возможность учета нелинейности путем корректировки деформативных свойств позволяют применить теорию линейного деформирования для анализа напряженно-деформированного состояния.

2. Учет армирующих свойств геоматериала осуществляется введением в расчетную схему эквивалентного слоя с толщиной и деформативными характеристиками, полученными на основе результатов испытаний.

3. Определение напряжений и деформации грунтовых массивов ведется в условиях плоской задачи теории упругости. В упругом состоянии грунтовая среда подчиняется закону Гука.

4. Численное решение поставленной задачи выполняется методом конечных элементов исходя из вариационного принципа Лагранжа, когда на действительных перемещениях полная потенциальная энергия рассматриваемого объема грунтовой среды достигает минимума.

Полный алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния земляного полотна по предложенной методике приведен ниже.

1. Определение геометрических параметров участка земляного полотна;
2. Определение геологического строения земляного полотна и основания;
3. Определение физико-механических свойств грунтов;
4. Определение величины и характера действующей нагрузки;
5. Учет армирующего слоя геоматериала;
6. Разработка расчетной схемы;
7. Программирование задачи для решения на ЭВМ и реализация решения;
8. Предварительное представление результатов расчета;
9. Повторные решения;
10. Окончательное представление результатов расчета.

Список литературы

1. Kezdi A. Talajmechanika. – Budapest, 1960.
2. Tschebotarioff G.P. Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures. – New York, 1957.
3. Terzaghi K. Theoretical Soil Mechanics. – 1994.
4. Skempton A.W. Geotechnique. – 1964. – V. 14. – № 2.
5. Сипидин В.П. О проявлении свойств ползучести при компрессионных испытаниях грунтов // Докл. АН АрмССР. – 1960. – 31. – № 5.

6. Ширинкулов Т.Ш., Зарецкий Ю.К. Ползучесть и консолидация грунтов. – Ташкент: Фан, 1986. – 392 с.
7. Ухов С.Б. и др. Механика грунтов, основания и фундаменты / Под ред. С.Б. Ухова. – М.: Высшая школа, 2004. – 566 с.
8. Бартоломей А.А. Механика грунтов. – М.: АСБ, 2004. – 304 с.
9. Bishop A. et Henkel D. The measurement of soil properties in the triaxial test. Edward Arnold and Co 2^e edition. – Londres, 1962.
10. Skempton A. Effective stress in soils, concrete and rocks. Conference on pore pressure. – Londres, 1960.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 43.01.05

Б. Апшикур¹, Т.Т. Ипалаков¹, М.М. Алимкулов²

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск,

²АО «КазАТК» им. М. Тынышпаева, г. Алматы

ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ

В статье выполнен обзор литературных источников и на его основании определены факторы, влияющие на работу земляного полотна, его основание, прочность и деформируемость. Определены основные виды деформаций и сделаны выводы о новом подходе в оценке напряженно-деформированного состояния слоистых (анизотропных) железнодорожных насыпей с учетом упругопластических деформаций и реологических свойств грунтов, а также в более глубоком исследовании изменения НДС при воздействии поездной динамической нагрузки.

Мақалада өдебиет көздеріне шолу жасалған және оның негізінде жер төсемінің жұмысына, оның негізіне, беріктігіне және деформациялануына әсер ететін факторлар анықталған. Деформацияның негізгі түрлері анықталған және топырақтың серпімділік-пластикалық деформациясы мен реологиялық қасиеттерін ескере отырып, қабатты (анизотропты) темір жол үйінділерінің кернеулі-деформацияланған жағдайын бағалаудағы жаңа тәсіл туралы, сондай-ақ пойыздық динамикалық жүктеме әсер еткендегі ҚДЖ өзгерісін тереңдей зерттеудегі тұжырымдар жасалған.

The article presents a review of the literature and on its basis the factors affecting the work of the roadbed, its base, strength and deformability. The main types of deformations are defined and conclusions are drawn about a new approach in the assessment of the stress-strain state of layered (anisotropic) railway embankments taking into account elastic-plastic deformations and rheological properties of soils, as well as in a deeper study of changes in SSS under the influence of train dynamic load.

Ключевые слова: *напряженно-деформированное состояние земляного полотна, метод конечных элементов, георешетка, геосетка, основная площадка земляного полотна.*

Земляное полотно является одним из важных элементов железнодорожного пути, в теле и основании которого залегают грунты разного вида, состава и физико-механических свойств. Характеристики физического состояния и механических свойств грунтов играют важную роль в обеспечении устойчивого и стабильного состояния земляного полотна и, в целом, прочности и надежности пути.

Работа земляного полотна и его основания, его прочность и деформируемость определяются следующими факторами:

- видом, составом, строением и характеристиками физико-механических свойств грунтов, слагающих тело и основание железнодорожного полотна;
- характером, направлением и величиной действующих нагрузок и эксплуатационных условий (статические, вибрационные, динамические воздействия; нагрузки на ось подвижного состава; интенсивность и периодичность движения, скорость движения поездов, их масса и т.п.);
- конструктивными показателями верхнего строения пути и их состоянием (тип рельсов, вид балласта и толщина слоя, тип шпал, вид скреплений, наличие неровностей на рельсах и др.).

В земляном полотне (насыпи и выемки) в период эксплуатации с учетом вышеперечисленных факторов происходит изменение характеристик деформируемости и прочности грунтов, что приводит к снижению его прочности, устойчивости и долговечности.

Принято деформации земляного полотна подразделять на шесть групп [1-4]:

- повреждения основной площадки (углубления, просадки, пучины);
- повреждения поперечных профилей земляного полотна или смещения его по основанию (осадки, сдвиги и расползание насыпей);
- повреждения и разрушения слабого основания земляного полотна (болота, горные выработки, карсты и др.);
- повреждения и разрушения земляного полотна и его обустройств при неблагоприятных стихийных воздействиях;
- отклонения конструкций земляного полотна от современных норм.

Значительный вклад в развитие науки о земляном полотне внесли известные ученые в области грунтоведения (М.М. Филатов, В.В. Охотин, Н.Н. Иванов, Е.М. Сергеев и др.), в области механики грунтов (Н.М. Герсевич, Н.Н. Маслов, М.Н. Гольдштейн, Н.А. Цытович, К. Терцаги, А. Кедзи и др.) и специалисты-железнодорожники (Г.М. Шахунянц, Н.Г. Грушевой, М.Н. Гольдштейн, Г.Н. Жинкин, В.П. Титов, И.В. Прокудин, Т.Г. Яковлева, Г.Г. Коншин, В.И. Хромов и др.).

Существенное развитие исследований в области земляного полотна произошло благодаря тесному творческому содружеству специалистов: геотехников, железнодорожников и автодорожников.

Следует особо подчеркнуть значимость научных работ в области земляного полотна, выполненных д.т.н., проф. Г.М. Шахунянцем и его учениками, а также отметить большой вклад в исследованиях вопросов земляного полотна и геотехники на железнодорожном транспорте д.т.н., проф. Гольдштейна М.Н.

В Казахстане в настоящее время создана научная школа ученых-путейцев, которые работают по совершенствованию верхнего строения пути и работоспособности земляного полотна (Исаенко Э.П., Омаров А.Ж., Закиров Р.С., Биттибаев С.М., Уразбеков А.К., Мусаев С.К., Ауесбаев Е.Т. и др.).

В работе Ким А.Ф. [3] приводится компьютерное поведение земляного полотна. Автор считает, что нелинейная механика грунтов позволяет проследить деформации сооружения и его основания от начала возведения и приложения эксплуатационной нагрузки.

Porevski R. и Podagelis I. [4] в научной работе, выполненной в Познанском и Вильнюсском университетах, приводят результаты теоретических исследований распределения вертикальных напряжений сжатия в грунте железнодорожной насыпи при действии колесной осевой нагрузки локомотива ЕТ 22. В качестве расчетной модели была выбрана неразрезная балка – рельс, опирающаяся на упругоподатливые опоры-шпалы. Расчеты были выполнены для осевой нагрузки 196 кН и рельса 56 при шаге шпал 0,6 м. Были рассмотрены 4 схемы распределения нагрузки слоем щебня: G1, G2, G3 и G4. Приводятся диаграммы изменения напряжений вдоль рельс для различных схем распределения G, различных расстояний от осевой нагрузки и глубинах грунта. Отмечается, что на глубине 0,75 м распределение сжимающих напряжений практически равномерно.

В работе Стояновича Г.М. и Терехова Л.Д. [5] приведен анализ нормативных методов определения прочности и деформативности железнодорожного земляного полотна и существующих моделей теории предельного равновесия и упруго-пластической среды. Решение задачи механики грунтов в динамической постановке предложено с помощью МКЭ.

Бартоломей А.А., Кычкин Б.И. и Беляев Д.С. [6] предложили методику оценки деформационных свойств грунтов земляного полотна транспортных сооружений.

Яковлева Т.Г. и Иванов Д.И. [7] рассмотрели моделирование прочности и устойчивости земляного полотна.

Суру Ромуальд Агата [8] свою научную работу посвятил изучению напряженно-деформированного состояния железнодорожной насыпи при динамическом воздействии и разработке теоретических и практических методов прогнозирования несущей способности и деформативности железнодорожного земляного полотна. Установлено влияние на деформируемость грунта следую-

щих факторов: числа циклов напряжения, амплитуды циклической нагрузки, частоты нагружения, исходного напряженного состояния и плотности грунта. Разработана методика расчетов для прогноза деформируемости и устойчивости железнодорожной насыпи.

В работе [9] изложено математическое моделирование земляного полотна в свете современных представлений механики грунтов. Описаны алгоритмы решения ряда практических задач земляного полотна численными методами.

В работе [10] уточнены требования к земляному полотну применительно к высокоскоростным линиям и направлены на установление параметров земляных сооружений в соответствии с динамическими показателями. Геотехнические требования должны быть модифицированы таким образом, чтобы земляные сооружения даже при максимальных нагрузках работали безотказно.

В работе [11] обсуждаются актуальные проблемы статики, динамики и устойчивости железнодорожных насыпей при больших скоростях тяжелых подвесных составов.

Великотным В.П. [12] для однопутной насыпи высотой 6,0 м, отсыпанной из тяжелого суглинка выполнен расчет осадки тела насыпи с включением в расчетную схему формулы безразмерного коэффициента β и динамического модуля деформации, зависящего от состояния грунта и величины действующей на него пульсации напряжений.

В работе Ильяшенко А.А. [13] рассматривается зависимость остаточной осадки железнодорожного пути от высоты насыпи земляного полотна. Получено, что общая осадка пути с учетом влияния высоты насыпи выражается формулой:

$$h = \frac{T}{a + bT} + cHT, \quad (1)$$

где T – пропущенный тоннаж; a, b, c – параметры; H – высота насыпи.

Установлено, что вертикальные нагрузки сопровождаются вибрацией; амплитуда колебаний более высокой насыпи больше, чем низкой; большая амплитуда вызывает большие остаточные осадки.

Берман М.А., Бабицкая С.С. и Резник П.М. [14] рассмотрели вопросы расчета стабильности высоких железнодорожных насыпей. Для пылеватого и тощего суглинка получены линейные зависимости прочности от скоростей распространения упругих волн. Проведенные исследования показали, что измерение скоростей распространения упругих волн позволяет оценить распределение грунта по прочности в теле земляного полотна.

Коншин Г.Г. [15] выявил закономерности изменения напряженного состояния земляного полотна под воздействием поездной нагрузки. Результаты выполненных экспериментальных исследований позволили выделить в земляном полотне отдельные зоны динамического воздействия поездной нагрузки. Непосредственно под рельсно-шпальной решеткой вблизи основной площадки грунт испытывает наибольшее воздействие поездной нагрузки. Динамические напряжения в земляном полотне затухают по вертикали с глубиной по экспоненте.

В работе Казарновского В.Д и Павловой Л.Н. [16] дан прогноз деформации насыпей из глинистых грунтов в результате процесса ползучести при сдвиге.

Mlenssens С. [17] в результате анализа существующих методов расчета эксплуатируемых насыпей, проведения соответствующих экспериментальных исследований и в ходе наблюдений за осадками и боковыми перемещениями на ряде экспериментальных насыпей дает рекомендации по корректировке расчетных моделей. Кроме этого, получен ряд зависимостей между боковыми перемещениями, осадкой и функцией геометрии насыпей и свойствами грунта.

Прокудин И.В. [18] изучил прочность и деформативность железнодорожного земляного полотна из глинистых грунтов, воспринимающих вибрационную нагрузку.

Коншин Г.Г. [19] исследовал напряженное состояние земляного полотна под воздействием подвижной нагрузки при наличии неровностей в рельсовом пути.

Яковлева Т.Г. [20] изучила НДС высоких железнодорожных насыпей при динамических воздействиях.

Коншин Г.Г., Титов В.П., Хромов В.И., Наумова Н.В. [21] исследовали напряжения и упругие деформации в земляном полотне под воздействием поездов.

Жинкин Г.Н. и Зарубина Л.П. [22] рассмотрели вопрос влияния вибродинамического воздействия поездов на изменение прочности грунтов земляного полотна.

Исаханов Е.А. [23] исследовал напряжения и деформации в теле высокой дорожной насыпи, сложенной из плотных глинистых грунтов с учетом нелинейной деформируемости и ползучести грунтов.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время существует большое количество теоретических и экспериментальных исследований как в области определения механических характеристик глинистых грунтов, так и в области прогнозов деформирования железнодорожных насыпей, состоящих из этих грунтов.

2. В большинстве исследований при определении напряженно-деформированного состояния железнодорожных насыпей поездная нагрузка, как правило, заменяется эквивалентным слоем грунта, что не соответствует действительной работе сооружения, так как при этом не учитывается динамический характер приложения нагрузки.

3. При проектировании земляного полотна в традиционных расчетах нормальных, касательных и главных напряжений условно принимается, что грунты насыпей изотропны и под воздействием временной поездной нагрузки работают в упругой стадии, что также не соответствует реальной работе сооружений.

4. Существует острая необходимость в оценке напряженно-деформированного состояния слоистых (анизотропных) железнодорожных насыпей с учетом упругопластических деформаций и реологических свойств грунтов, а также в более глубоком исследовании изменения НДС при воздействии поездной нагрузки.

Список литературы

1. Моченов Г.М., Титов В.П. Дефекты, повреждения и разрушения земляного полотна железных дорог (Классификация). – М.: Транспорт, 1972. – 49 с.
2. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
3. Ким А.Ф. Расчет земляного полотна по теории нелинейной механики //Путь и путевое хозяйство. – 2003. – № 10. – С. 25.
4. Porevski R., Ponagelis I. Evaluation of variability in sulgrade loads //J. Civ. Eng. and Manag. – 2003. – 9. – № 1. – С. 16-19.
5. Стоянович Г.М., Терехов Л.Д. Решение задач прочности и деформативности железнодорожного земляного полотна при статических и динамических нагрузках //Тр. Дальневосточ. гос. ун-та путей сообщ. – 2002. – № 43. – С. 1-38.
6. Бартоломей А.А., Кычкин Б.И., Беляев Д.С. Методика оценки деформационных свойств грунтов земляного полотна транспортных сооружений //Мат. 7 Межд. науч.-техн. конф. – Уфа: УГНТУ, 2003. – С. 99.
7. Яковлева Г.Г., Иванов Д.И. Моделирование прочности и устойчивости земляного полотна. – М.: Транспорт, 1980. – 255 с.
8. Суру Ромуальд Агата. Напряженно-деформированное состояние насыпи при действии нагрузки поезда: автореф. ... канд. техн. наук. – М., 1994. – 17 с.
9. Ким А.Ф. Земполотно. Теоретические основы технического обеспечения. – Новосибирск: СГУПС, 2002. – 160 с.
10. Требования к земляному полотну //Железные дороги мира. – 1999. – № 6. – С. 55-58.
11. Szczesniak Wacław. Analiza statyczna, dynamiczna i statecznosc nawierzchni drogowej i kolejowej //Warsaw Univ. Technol. Fac. Civ. Eng. – Warsaw, 1999. – С. 369-395.
12. Великотный В.П. Расчет необратимых осадок основной площадки железнодорожной насыпи с учетом изменения деформационных свойств глинистых грунтов при вибродинамическом воздействии поездов /Вопросы земляного полотна и геотехники на железнодорожном транспорте: межвуз. сб. научн. тр. – Днепропетровск: ДИИТ, 1981. – Вып. 219/30. – С. 10-14.
13. Ильяшенко А.А. Зависимость остаточной осадки железнодорожного пути от высоты насыпи земляного полотна //Вопросы земляного полотна и геотехники на железнодорожном транспорте: межвуз. сб. научн. тр. – Днепропетровск: ДИИТ, 1981. – Вып. 219/30. – С. 15-20.
14. Берман М.А., Бабицкая С.С., Резник П.М. К вопросу расчета стабильности высоких железнодорожных насыпей //Устойчивость геотехнических сооружений на железнодорожном транспорте: межвуз. сб. научн. тр. – Днепропетровск: ДИИТ, 1989. – С. 35-38.
15. Коншин Г.Г. Закономерности изменения напряженного состояния земляного полотна под воздействием поездной нагрузки // Вестник ВНИИЖТа. – 1991. – № 8. – С. 17-21.

16. Казарновский В.Д., Павлова Л.Н. О прогнозе деформаций насыпей из глинистых грунтов в результате процесса ползучести при сдвиге // Совершенствование расчетов при проектировании земляного полотна в сложных инженерно-геологических условиях. – М.: МАДИ, 1992. – С. 13-17.
17. Meussens Claude. Deplacements horizontaux dans les sols mous: Les lecons des etudes experimentales sur les ouvrages // Rapp. lab. Ser. geotechn., mec. sols. sel. terre /Min equiep., log., tranap. et. mer, Lab. cent. ponts et chaussées. – 1988. – № 39. – P. 95-104.
18. Прокудин И.В. Прочность и деформативность железнодорожного земляного полотна из глинистых грунтов, воспринимающих вибродинамическую нагрузку: автореф. ... докт. техн. наук. – М., 1983. – 43 с.
19. Коншин Г.Г. Воздействие поездной нагрузки на земляное полотно при наличии неровностей в рельсовом пути // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. – № 7. – С. 43-45.
20. Яковлева Т.Г. Динамическое состояние высоких насыпей // Путь и путевое хозяйство. – 1983. – № 5. – С. 32-33.
21. Коншин Г.Г., Титов В.П., Хромов В.И., Наумова Н.В. Напряжение и упругие деформации в земляном полотне под воздействием поездов // Тр. ВНИИЖТа. – 1972. – Вып. 460. – 128 с.
22. Жинкин Г.Н., Зарубина Л.П. Влияние вибродинамического воздействия поездов на изменение прочности грунтов земляного полотна // Повышение надежности надежности верхнего строения пути и земляного полотна: сб. науч. тр. – Свердловск, 1969. – С. 128-135.
23. Исаханов Е.А. Деформации и напряжения в теле высокой дорожной насыпи // Исследования по строительным конструкциям: межвуз. сб. науч. тр. КазГАСА. – Алматы, 2000. – С. 209-214.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 67.29.63

Ю.В. Буртыль

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

ПРАКТИКА ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

В статье рассмотрены вопросы применения георадиолокационных технологий для инженерных целей применительно к подповерхностным исследованиям. Представлен пример радарограммы и керна цементобетонного покрытия, отбираемого при геологической заверке толщины монолитного слоя. Приводятся графики изменения толщины слоев дорожной одежды по радарограммам продольных проходов на указанных участках автомобильных дорог с предположениями о характере неоднородностей полученных значений. Проведена оценка соответствия полученных результатов по определению толщины монолитных слоев (цементобетона и асфальтобетона) по критерию количественного отклонения от требуемого нормативного значения. Приводятся рекомендации по учету положительных отклонений толщины монолитных слоев дорожных одежд на различных стадиях обследований автомобильных дорог.

Мақалада жер асты зерттеулеріне қатысты инженерлік мақсаттар үшін георадиолокациялық технологияларды қолдану мәселелері қарастырылған. Монолитті қабаттың қалыңдығын геологиялық куәландыру кезінде таңдалған цемент-бетон жабынының радарограммасы мен өзегінің мысалы келтірілген. Алынған мәндердің біртекті еместігінің сипаты туралы болжамдармен автомобиль жолдарының көрсетілген учаскелеріндегі бойлық өту жолдарының радарограммалары бойынша жол жамылғысы қабаттарының қалыңдығының өзгеру кестесі келтіріледі. Талап етілетін нормативтік мәннен сандық ауытқу өлшемі бойынша монолитті қабаттардың (цемент-бетон және асфальтбетон) қалыңдығын анықтау бойынша алынған нәтижелердің сәйкестігіне бағалау жүргізілді. Автомобиль жолдарын тексерудің өртүрлі сатыларында жол төсемдерінің монолитті қабаттары қалыңдығының оң ауытқуларын есепке алу бойынша ұсынымдар келтіріледі.

The article considers the issues of application of ground penetrating radar (GPR) technologies for engineering purposes in the respect of subsurface research. The example of radargram and the core sample of a cement concrete pavement taken during geological verification of the thickness of a monolithic layer are presented. Graphs of variation in the thickness of pavement layers by radargrams of longitudinal pas-

sages in the indicated road sections with the assumptions about the nature of the heterogeneity of the obtained values are given. The obtained results on the thickness of monolithic layers (cement concrete and asphalt concrete) were assessed on the criteria of quantitative deviation from the required standard value. Recommendations to address positive deviations in the thickness of monolithic layers of pavement at various stages of road survey were provided.

Ключевые слова: георадар, георадиолокационный контроль, керны, методика полевых исследований, радарограмма, толщина монолитных слоев, цементобетонное покрытие, асфальтобетонное покрытие, погрешность

Георадиолокационные технологии существуют уже много десятилетий, но только в последние 30-40 лет они получили значительное развитие применительно к подповерхностным исследованиям. Георадары нашли свое приложение в инженерной геологии, промышленном, гражданском и дорожном строительстве, в археологии, а также используются для специальных целей, например: обеспечение экологической безопасности (обнаружение утечек из нефтепроводов, мест захоронения опасных отходов) охрана правопорядка (выявление контрабанды, скрытых помещений, поиск людей в лавинах) [1-13].

Востребованность в дорожной практике метода георадиолокационного исследования для диагностических целей обусловлена его универсальностью и высокой производительностью. Основные направления использования георадаров в дорожной деятельности следующие:

- оценка толщины слоев дорожной одежды и толщины слоев грунта земляного полотна, а также оценка их однородности (качества уплотнения и влажности; приемка работ и оценка эксплуатационных изменений) [3,6,10–17];

- оценка дефектов слоев дорожной одежды и земляного полотна (пустоты, зоны разуплотненных грунтов и инфильтрации воды, зоны переувлажненных грунтов и т.д.) [6, 8, 13, 16];

- оценка содержания воды и глины в слоях дорожной одежды и грунте земляного полотна (определение глубины залегания грунтовых вод, глубины промерзания и оттаивания грунтов, а также изменения их влажности [6,9,13,16];

- обследование бетонных элементов и конструкций [4,10,11,12,18].

В настоящей статье представлены данные георадиолокационного обследования пяти участков республиканских автомобильных дорог Казахстана, выполненного в рамках этапа «Внедрение георадиолокационного контроля качества выполнения дорожно-строительных работ» по договору № 44 от 12.09.2018 г. с Комитетом автомобильных дорог Республики Казахстан.

Точность (погрешность) существующих методик. Одним из ключевых вопросов при оценке толщины конструктивных слоев дорожных одежд методом георадиолокационного исследования является точность (погрешность) получаемых данных. В настоящее время в Европейском союзе не в достаточной мере развита нормативная база, как на национальном, так и на общеевропейском уровне в части применения георадиолокационных исследований применительно к оценке толщины дорожных одежд автомобильных дорог [10]. Сравнительные исследования, проведенные в Чехии и Франции для определения точности используемых национальных методов [10], показали, что при определении толщины асфальтобетона на мостовом сооружении разница составляла от 3 мм до 15 мм, или 1...9 % толщины слоя, вне мостового сооружения – 10...18 мм (3...5 %). В других источниках указывается более высокое значение погрешности при определении толщины покрытия на мостовых сооружениях – 6...7 % [12].

В работе [11] по итогам георадиолокационного обследования 17 участков дорог с асфальтобетонным покрытием с различным сроком эксплуатации (от вновь введенных до 20 лет) указывается, что погрешность определения толщины увеличивается с увеличением возраста дорожного покрытия. При этом погрешность определения толщины монолитных асфальтобетонных слоев находится в пределах от 4,4 % до 5,8 %. Для жестких покрытий погрешность ниже: не более 3 %.

Согласно [15] при толщине монолитного слоя минимум 40 мм погрешность составляет не более 5 мм, а в [3], например, указывается, что точность варьируется от 2 % до 10 % в зависимости от толщины слоев.

Российские [14,17] и белорусские методы [13] указывают, что погрешность определения толщины георадиолокационных обследований может не превышать 5 %. Следует отметить, что методология работ, описанная в настоящей статье, во многом опирается на указанные методы [13, 14, 17].

С другой стороны, в качестве целевых показателей точности (погрешности) можно принять нормативные требования ПР РК 218-35-2016 «Инструкция по контролю качества и приемке работ при строительстве и ремонте автомобильных дорог». Отклонение от проектных значений толщины асфальтобетонного покрытия не должно превышать 5 мм, при этом 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений от 10 мм до 15 мм, остальные до ± 5 мм. Для цементобетонных покрытий отклонения от проектных значений – 5 мм (10 % измерений могут иметь отклонения 15 мм).

Таким образом, целью данной работы является апробирование методических подходов [13,14,17] к оценке соответствия толщины верхних слоев дорожной одежды путем георадиолокационного исследования выбранных участков автомобильных дорог Казахстана республиканского значения.

Объекты исследования. В качестве объектов исследования на данном этапе работ были выбраны следующие участки дорог:

– А-1 «Астана-Петропавловск» (I техническая категория), км 233,000 – км 242,483 (покрытие – цементобетон);

– Р-12 «Кокшетау – Атбасар» (III техническая категория), км 70,000 – км 80,000 (асфальтобетон).

Методика выполнения и результаты георадиолокационного исследования

При выполнении геофизических работ применялся георадар серии «ОКО» в составе комплекса измерительного дорожного ДВК-05. Георадиолокационное исследование включало в себя следующие последовательные операции:

- анализ исходных материалов обследуемого участка и подготовку оборудования;
- проведение георадиолокационных обследований;
- геологическую заверку;
- обработку и интерпретацию радарограмм и подготовку отчета.

В процессе анализа исходных материалов изучалась техническая документация в части требований к толщине конструктивных слоев дорожной одежды.

При проведении георадиолокационных обследований производилась запись файлов радарограмм в продольном направлении на обследуемых участках (рис. 1).

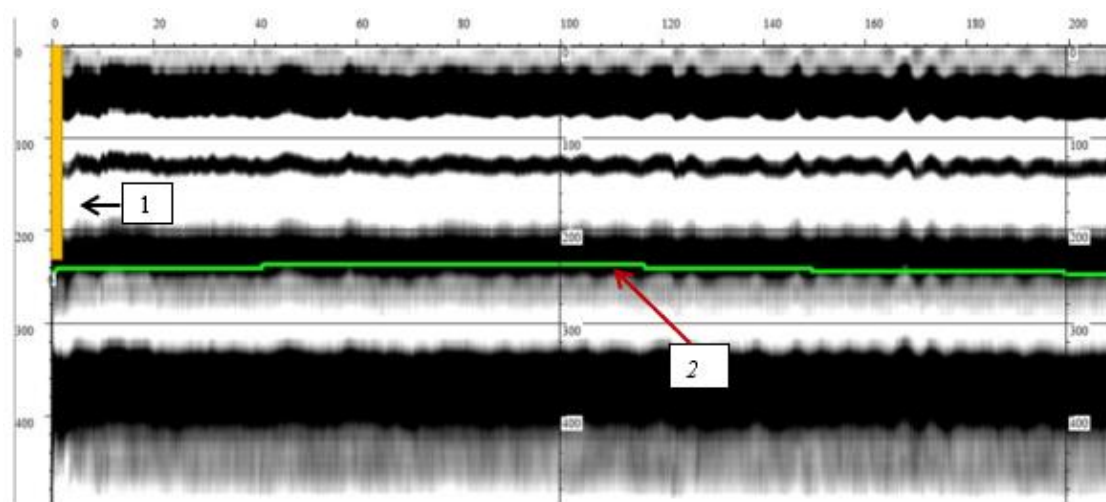


Рисунок 1 – Пример радарограммы на участке км 233 – км 234 автодороги А-1 «Астана – Петропавловск»: 1 – место отбора керна; 2 – подошва заверенного слоя из цементобетона

Геологическая заверка – отбор кернов материалов слоев дорожной одежды. Керны отбирались на расстоянии 1 м от кромки в створе прохода георадара. В процессе отбора кернов производилось фотографирование образцов (рис. 2).



Рисунок 2 – Пример кернов, отобранных на автомобильной дороге А-1 «Астана – Петропавловск», км 233

Интерпретация радарограмм выполнялась в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах. Интерпретация заключается в картировании отражающих границ различных слоев, расчете толщины слоев и выделении областей неоднородности свойств материалов и грунтов.

На рис. 3 и 4 представлены графики изменения толщины верхнего слоя покрытия из цементобетона по радарограмме продольного прохода А-1 «Астана-Петропавлов» в прямом и обратном направлениях, соответственно.

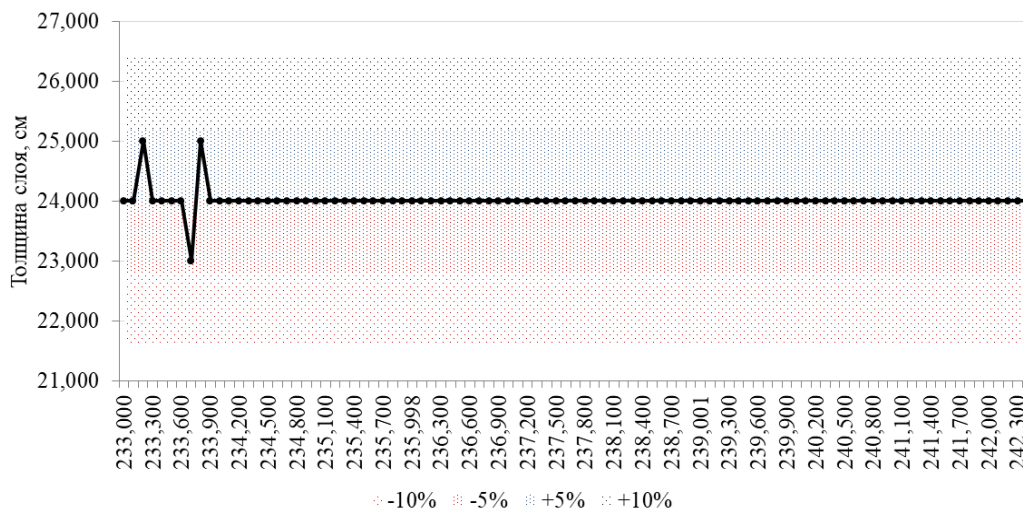


Рисунок 3 – График изменения толщины слоев дорожной одежды (цементобетон) по радарограмме на участке км 233,000 – км 242,300 (прямой ход)

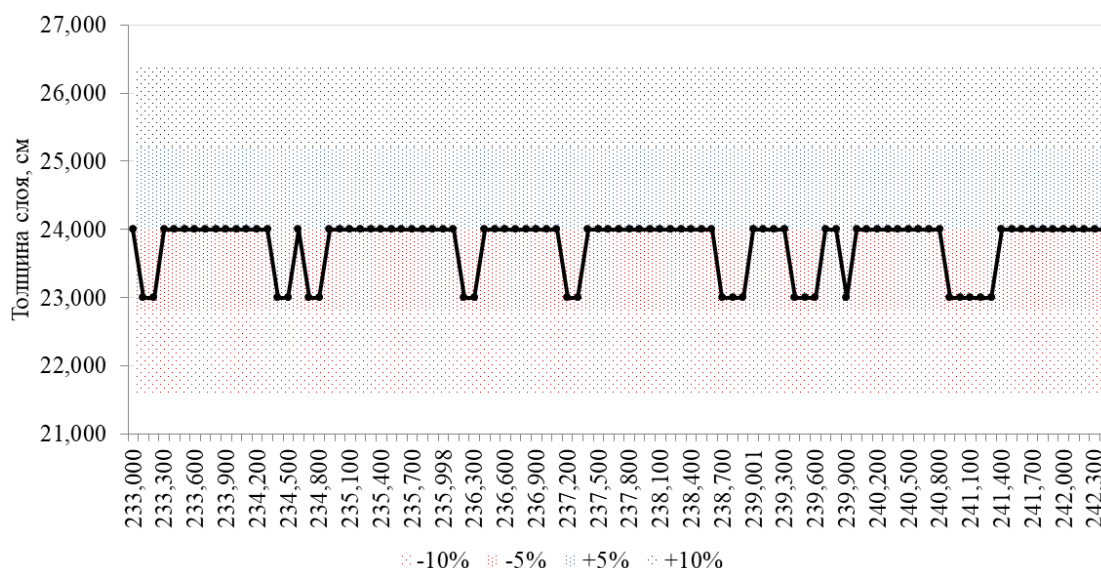


Рисунок 4 – График изменения толщины слоев дорожной одежды (цементобетон) по радарограмме на участке км 233,000 – км 242,300 (обратный ход)

Согласно полученным данным в прямом направлении 3 % значений имеют отклонение до $\pm 5\%$, остальные соответствуют требуемым значениям. В обратном направлении 23 % значений имеют отклонение до -5% , остальные значения соответствуют требованиям. В данном случае можно говорить о соответствии требованиям толщины цементобетонного покрытия и высокой однородности полученных значений, которая, видимо, вызвана высоким качеством подготовительных работ, предусматриваемых технологией устройства таких покрытий.

На рис. 5 и 6 представлены графики изменения толщины верхних слоев дорожной одежды из асфальтобетона по радарограмме продольного прохода Р-12 «Кокшетау – Атбасар» в прямом и обратном направлениях, соответственно.

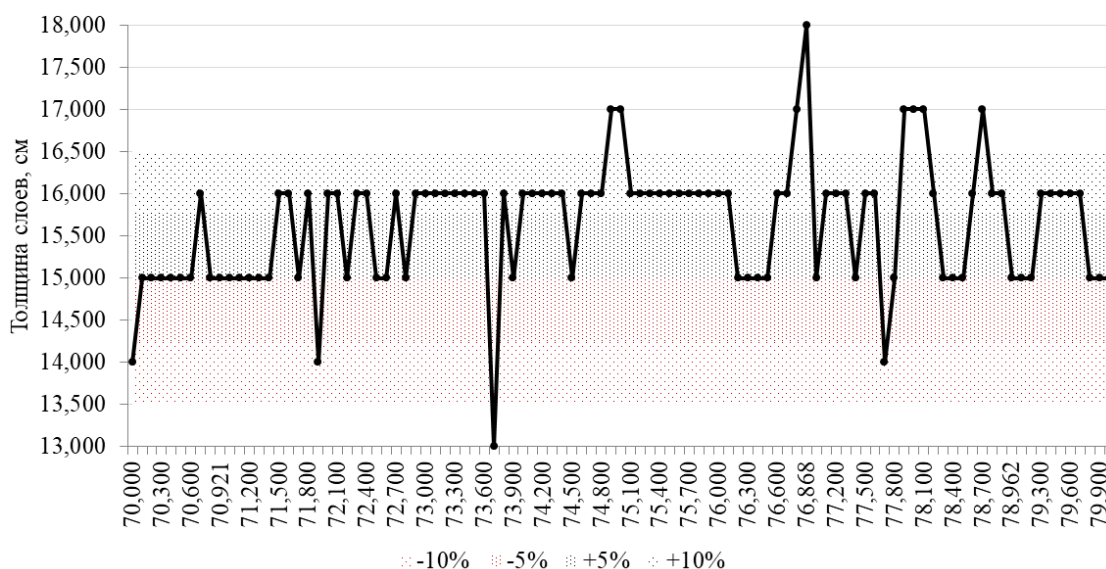


Рисунок 5 – График изменения толщины слоев дорожной одежды (асфальтобетон) по радарограмме на участке км 70,000 – км 80,000 (прямой ход)

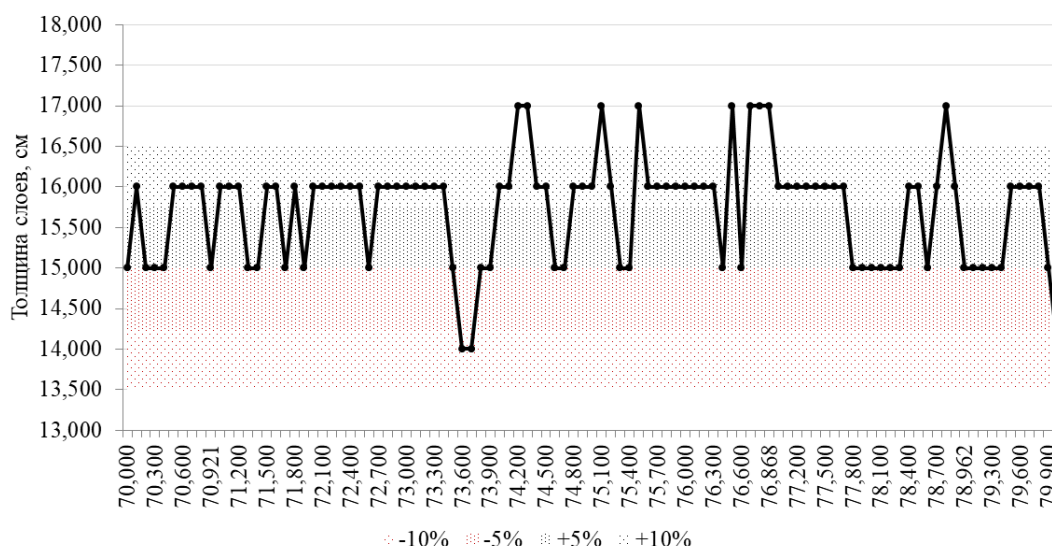


Рисунок 6 – График изменения толщины слоев дорожной одежды (асфальтобетон) по радарограмме на участке км 70,000 – км 80,000 (обратный ход)

Согласно полученным данным в обратном направлении 59 % значений имеют отклонение до $\pm 10\%$ (из них 56 % до $+10\%$) и 9 % отличаются от требуемого значения на более чем $+10\%$. В прямом направлении 57 % значений имеют отклонение не более $\pm 10\%$ (из них 54 % в большую сторону) и 9 % отличаются от требуемого значения на более чем $\pm 10\%$ (из них 8 % в большую сторону). Высокая неоднородность значений в данном случае предположительно вызвана качеством устройства несвязных слоев, предшествующих укладке пакета асфальтобетонных слоев. При этом несмотря на то, что в основном наблюдается превышение толщины пакета слоев относительно требуемого значения, с точки зрения существующих нормативных требований данный участок автомобильной дороги не соответствует требованиям.

На основании полученных результатов можно рекомендовать, например, не учитывать положительные отклонения при принятии решения о соответствии, а подсчитывать только процент отрицательных отклонений (за исключением искусственных сооружений). Кроме того, следует рассмотреть вопрос изменения допустимых отклонений для стадии мониторинга и диагностики автомобильных дорог.

Выводы. В статье представлены результаты практической апробации метода георадиолокационного обследования с целью определения толщины верхних монолитных слоев дорожной одежды на выбранных участках автомобильных дорог Казахстана республиканского значения. Была проведена оценка соответствия полученных значений толщин по критерию отклонения от требуемого значения с использованием графиков изменения толщины слоев дорожной одежды по радарограммам продольных проходов на указанных участках с покрытием из асфальтобетона и цементобетона. При определении толщины цементобетонного покрытия были получены значения с более высокой однородностью, чем у пакета асфальтобетонных слоев, и сделано предположение, что причиной этого являются технологические различия в подготовке нижележащих слоев. При этом можно рекомендовать учитывать положительные отклонения при принятии решения о соответствии и ограничить процент отрицательных отклонений.

В дальнейшем планируется продолжить работы по внедрению георадиолокационного контроля на автомобильных дорогах Республики Казахстан не только для оценки толщины монолитных слоев дорожных одежд, но и для решения более широкого спектра задач и, таким образом, повышения долговечности дорожных конструкций за счет обоснования управленческих решений на основании этого современного метода неразрушающего контроля.

Список литературы

1. Бибосинов А.Ж., Исследование Шардаринского гидрокомплекса методом георадиолокации / Бибосинов А.Ж., Шигаев Д.Т., Калдыбаев А.А., Нуракинов С.М., Бреусов Н.Г., Мамырбек Г.Б. // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия физико-математическая. – ISSN 1991-346x, 4 (308), июль – август 2016 г. – С. 46-49.
2. Нуракинов С.М., Эффективность применения георадиолокационного метода при изучении инженерно-геологических условий на участках Алматинского метрополитена приповерхностного залегания/ Нуракинов С.М., Калдыбаев А.А., Шигаев Д.Т., Бибосинов А.Ж. // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия физико-математическая. – ISSN 1991-346x, 4 (308), июль – август 2016 г. – С. 50-55.
3. Evans, R.D. A review of pavement assessment using ground penetrating radar (GPR) [Electronic resource] / Evans, R.D.; Frost M., Stonecliffe-Jones M., Dixon N // Birmingham, UK. – 12th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 16-19. – 2008. – Mode of access: <https://hdl.handle.net/2134/3590>. – Date of access: 29.02.2020.
4. Tosti, F., Using Ground Penetrating Radar Methods to Investigate Reinforced Concrete Structures/ Tosti, F., Ferrante, C. // Surveys in Geophysics 21 August 2019. – <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09565-5>.
5. Koryakova, L., Archaeological studies of the Kamenny Ambar (Olgino) fortified settlement / Koryakova, L., Krause, R., Epimakhov, A.V., Sharapova, S., Panteleyeva, S.E., Berseneva, N.A., Fornasier, J., Kaiser, E., Molchanov, I.V., Chechushkov, I. // Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia. – 39/4, 2011. – p.61– doi: 10.1016/j.aear.2012.02.007.
6. Поляков А.Н. Опыт применения георадарного зондирования при проведении инженерных изысканий [Электронный ресурс] / А.Н. Поляков, А.П. Кремнёв // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: электрон. сборник статей междунар. науч. конф., посвящ. 50-летию Полоц. гос. ун-та, Новополоцк, 5-6 апреля 2018 г. / Полоц. гос. ун-т; под общ. ред. А.А. Бакаловича, Л.М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – С. 86.
7. Кабанихин С.И. Анализ результатов георадарных измерений и определение неоднородностей (археологических объектов) в слоистой среде / Кабанихин С.И., Искаков К.Т., Шолпанбаев Б.Б., Бектемисова А.А. / III Междунар. научно-практ. конф. «Информатизация общества», посвященная 100-летию Л.Н. Гумилева. – Астана: ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2012. – С. 429-431.
8. Кулижников А.М. Георадарные обследования локальных оползневых деформаций на откосах земляного полотна автомобильной дороги М-4 «Дон» / А.М. Кулижников, Р.А. Еремин // Дороги и мосты: Российский дорожный научно-исслед. ин-т. – Москва. – № 1(39). – 2018. – С.84-104.
9. Процюк В.А. Алгоритм оценки влажности грунтов земляного полотна по результатам георадиолокационного обследования / В.А. Процюк, А.Г. Батракова // Вестник ХНАДУ. – 2016. – Вып. 72. – С. 157-161.
10. Stryk J. Comparative measurements of ground penetrating radars used for road and bridge diagnostics in the Czech Republic and France / J. Stryk, R. Matula, K. Pospíšil, X. Dérobert, J.M. Simonin, A.M. Alani // Construction and Building Materials. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.134>.
11. Al-Qadi I. Accuracy of Ground-Penetrating Radar for Estimating Rigid and Flexible Pavement Layer Thicknesses / Al-Qadi I., Lahouar S., Jiang K., Mcghee K. Mokarem D. // Transportation Research Record, 1940. – 2005. – P. 69-78. – doi: 10.3141/1940-09.
12. Matula R. Diagnostics of Bridge Pavements by Ground Penetrating Radar [Electronic resource] / R. Matula, J. Stryk, K. Pospíšil //11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT 2014), Prague, Czech Republic/ – October 6-10, 2014. – Mode of access: https://www.ndt.net/events/ECNDT2014/app/content/Paper/551_Matula.pdf. – Date of access: 29.02.2020.
13. Рекомендации по использованию георадарных технологий для мониторинга: ДМД 02191.5.005-2007. – Введ. 01.02.2008. – Минск: Департамент «Белавтодор»: РУП «БелдорНИИ», 2008. – 25 с.
14. Рекомендации по контролю качества выполнения дорожно-строительных работ методом георадиолокации: ОДМ 218.3.075-2016. – Введ. 06.10.2016. – Москва: Федеральное дорожное агентство: ФАУ «РОСДОРНИИ», 2016. – 76 с.
15. Standard Test Method for Determining the Thickness of Bound Pavement Layers Using Short-Pulse Radar: ASTM D4748 - 10(2015) – ASTM International, West Conshohocken, PA. – 2015.
16. The European GPR Association Guidelines for Pavement Structural Surveys: GS1601. – EuroGPR, [Электронный ресурс]. – 2016 Режим доступа: http://www.eurogpr.org/vn2/images/documents/GS1601_EG_Pavements_Policy_Draft_v1_0_160412.pdf. – –

17. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Методы измерения толщины слоев дорожной одежды: ГОСТ Р (проект). – Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2017. – 32 с.
18. Рекомендации по применению георадарных технологий при обследовании конструкций фундаментов и оснований мостовых сооружений: ДМД 02191.5.012-2012. – Введ. 01.03.2013. – Минск: Департамент «Белавтодор»: РУП «БелдорНИИ», 2013. – 15 с.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 70.94.15

А.Е. Кабдрахманов, О.К. Денисова, Л.А. Костыгова

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье представлены оценка современного состояния и динамики развития отрасли водоснабжения в Восточно-Казахстанской области, пути решения проблем, возникающих в области водоснабжения региона, рассмотрены перспективы его развития.

Мақалада Шығыс Қазақстан облысындағы сумен жабдықтау саласының қазіргі жағдайы мен даму динамикасы, аймақтағы сумен жабдықтау саласында туындайтын проблемаларды шешу жолдары ұсынылған, сонымен қатар оның даму перспективалары қарастырылған.

The article presents an assessment of the current state and dynamics of the development of the water supply industry in the East Kazakhstan region, presents ways to solve problems arising in the field of water supply in the region, and also considers the prospect of its development.

Ключевые слова: водоснабжение, экономика, динамика развития, инновационные технологии, водные ресурсы

В советский период, начиная с 60-х и до 90-х годов XX века, на большей части современной территории Восточно-Казахстанской области были проведены масштабные региональные гидрогеологические исследования. Сохранившиеся материалы исследований позволяют экспертам оценить общее гидрогеологическое состояние, а при целенаправленном проведении специального анализа и применении опыта и полученных данных поисково-разведочных работ и мониторинга грунтовых вод имеется возможность делать количественные оценки и долгосрочные прогнозы.

Крайне важно проводить количественные оценки и долгосрочные прогнозы именно для тех районов области, в которых имеется дефицит водных ресурсов и загрязнена окружающая среда. Тяжело обеспечивать устойчивое общественное развитие и рост экономики без подобных оценок и прогнозов, ведь именно от бесперебойного снабжения населения региона качественной хозяйственно-питьевой водой напрямую зависит жизнь людей и стабильное функционирование экономики.

Согласно изученным данным материалов региональных исследований и проведенному анализу, следует отметить тот факт, что Восточно-Казахстанская область обладает большими запасами подземных и поверхностных вод. Учитывая состояние поверхностных вод, их незащищенность и высокий риск загрязнения, хозяйственно-питьевое водоснабжение в ВКО осуществляется преимущественно путем забора подземных вод. Однако водоснабжение таких городов, как Риддер, Курчатов и Серебрянск обеспечивается за счет поверхностных вод [1].

На сегодня в целях полного удовлетворения потребностей населения в качественной хозяйственно-питьевой воде разведано свыше сорока месторождений подземных вод с общим количеством запасов 2100,75 тысяч м³/сут, но из них эксплуатируется всего 23 месторождения с водоотбором 175,01 тысяч м³/сут, в процентном соотношении равным около 8,5 % от общих запасов пресных вод, которые были разведаны.

В 2011 году была утверждена государственная программа «Ақ бұлақ», целью которой является бесперебойное обеспечение населения, преимущественно сельского, качественной хозяйственно-питьевой водой и услугами водоотведения. Так, в Восточно-Казахстанской области в рамках данной программы освоено свыше 27 млрд. Тенге, на которые построено около 90 водопроводов.

В сельских населенных пунктах области, с общей численностью населения 539392 человек (по состоянию на 1 июля 2019 г.) система водоснабжения в основном опирается на неутвержденные запасы подземных вод. Для обеспечения бесперебойным водоснабжением многих сел в Аягозском районе построен групповой водозабор и проведена реконструкция изношенных сетей водоснабжения, питают которые разведанные запасы подземных вод со среднесуточной подачей 650 м³/сут, что недостаточно для увеличивающегося населения. Поэтому крайне необходимо провести поисково-разведочные работы, оценить и утвердить все запасы подземных вод [2].

Для бесперебойного водоснабжения сельских населенных пунктов Бородулихинского района в рамках программы был построен Бель-агачский групповой водозабор с утвержденными запасами воды, равными 16,10 тысяч м³/сут.

Водоснабжение сел Жарминского района функционирует за счет Шарского группового водозабора с утвержденными запасами воды, равными 10,40 тысяч м³/сут. (1969 г.). В данных районах области в будущем необходимы переоценка и переутверждение имеющихся запасов.

Благодаря программе развития ресурсной базы минерально-сырьевого комплекса Республики Казахстан, за период с 2006 по 2010 годы в области были проведены крупномасштабные поисково-разведочные работы для обеспечения 56 сельских населенных пунктов качественной питьевой водой с различной суточной потребностью. Данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

*Населенные пункты Восточно-Казахстанской области,
в которых проведены крупномасштабные поисково-разведочные работы*

№	Район области	Населенные пункты	Расчетная потребность, тыс. м ³ /сут.
1	2	3	4
В период 2006-2007 гг.			
1	Абайский	Көкбай, Саржал, Тоқтамыс	3,4
2	Бескарагайский	Бөдене, Долонь, Белокаменка, Большая Владимировка	3,4
3	Глубоковский	Винное, Малаубинка	3,4
4	Тарбагатайский	Қамысты, Ахметбулак, Байтоғас	3,4
5	Уланский	Новоазовое, Алсай	3,4
6	Шемонаихинский	Барашки, Коневка	3,4
7	г. Семей	Булак, Бекенчи, Гранитный, Приречное	3,4
8	г. Риддер	Лесное, Бутаково	3,4
В период 2007-2008 гг.			
9	Абайский	Медео, Қасқабулак, Қарауыл, Бөрілі	2,9
10	Бескарагайский	Семиярка, Кривинка, Бошкуль, Қоянбай	2,9
11	Бородулихинский	Уба-Фоспорт, Песчанка	2,9
12	Глубоковский	Быструха, Черемшанка, Тарханка	2,9
13	Жарминский	Сулусары, Аршалы, Бирлик	2,9
14	Тарбагатайский	Қиндықты, Қарғыба, Үштөбе, Қызыл-Кесек, Шолокорда, Жантیکей, Бозша, Жаналык, Шорға	2,9
15	г. Семей	Абралы, Қайнар	2,9
16	г. Риддер	Поперечное, Лесхоз, Ливино	2,9

В период с 2009-2015 гг. дополнительно были проведены поисково-разведочные работы для 104 сельских населенных пунктов Восточно-Казахстанской области для обеспечения питьевой водой с расчетной потребностью от 3,0 до 4,2 тысяч м³/сут.

В табл. 2 приведено существующее положение системы водоснабжения городов Восточно-Казахстанской области [2].

Таблица 2

Положение системы водоснабжения городов ВКО

№	Город	Численность населения, тыс. человек, по состоянию на 2019 год	Источники системы	Утвержденные запасы воды, м ³ /сут.	Водоотбор, м ³ /сут.
1	Алтай	36,1	Богатыревское месторождение подземных вод	57,80	-
2	Зайсан	16,2	Даировское месторождение подземных вод	8,6	-
3	Серебрянск	8,4	Поверхностные воды р. Иртыш	-	1,5
4	Семей	324	Поверхностные воды р. Иртыш	335,9	94
5	Шемонаиха	18,2	Шемонаихинское месторождение подземных вод	92,9	-
6	Усть-Каменогорск	333	Усть-Каменогорское месторождение подземных вод	1049,8	4,4

Для полного удовлетворения перспективной потребности г. Усть-Каменогорска в качественном питьевом водоснабжении за период 2007-2020 гг. были выполнены ряд работ:

– во-первых, проведена переоценка и экспертиза общих запасов подземных вод на существующих водозаборах города;

– во-вторых, ликвидированы и затампированы водозаборы с низким качеством подземных вод третьего микрорайона и района Ахмирово;

– в-третьих, проведена доразведка и экспертиза запасов подземных вод на следующих участках резервных водозаборов: Коршуновский, Левобережный, Тополиный; реконструкция и расширение Пионерского, Аблакetskого, Северо-Атамановского водозаборов; спроектированы и организованы три пояса зон санитарной охраны на уже существующих и разведанных водозаборах.

На рис. 1 представлены данные о количестве людей в Казахстане, которые получают воду путем децентрализованной системы водоснабжения, то есть не имеют доступа к централизованному водоснабжению – водопроводу.

Согласно графику, представленному на рис. 1, можно сделать вывод, что ВКО находится в тройке лидеров по обеспечению населения бесперебойным централизованным водоснабжением.

Следует отметить, что в Восточно-Казахстанской области наблюдается положительная динамика развития отрасли водоснабжения, поддержание которой может происходить посредством точечных изменений в регулировании и управлении водными ресурсами, а также с помощью государственной поддержки отрасли и постоянным финансированием.

Однако существует некоторое количество сельских населенных пунктов, испытывающих дефицит в питьевой воде. Для решения проблем необходимо выполнить полное обследование всех сельских населенных пунктов области специалистами гидрогеологами при поддержке областного и местных акиматов.

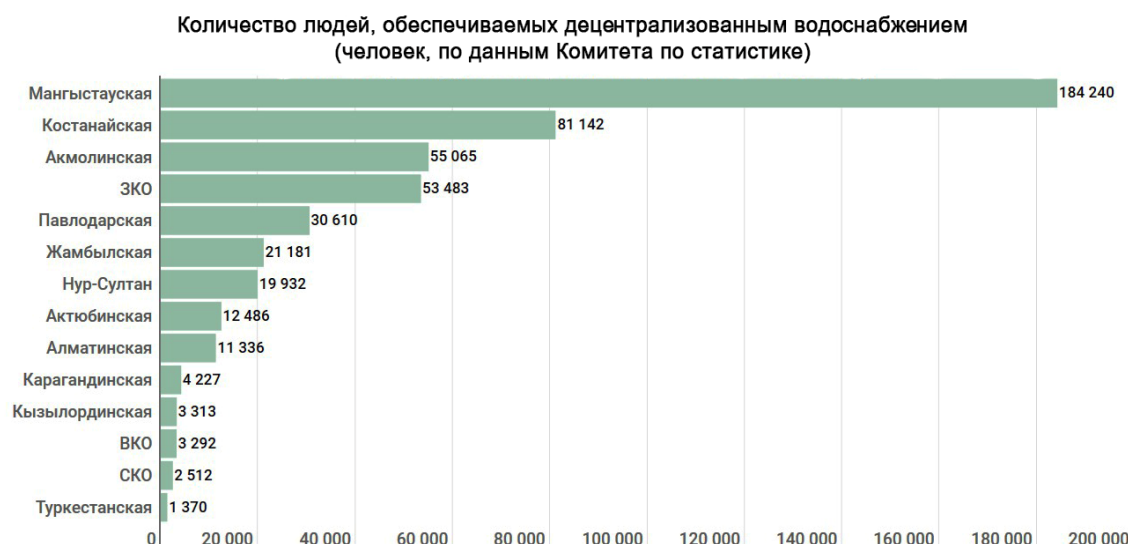


Рисунок 1 – Количество людей в Республике Казахстан, не имеющих доступа к центральному водоснабжению

Эти мероприятия позволят выявить объекты, которые испытывают дефицит в источниках хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также смогут дать старт новым поисково-разведочным работам. Источником финансирования подобных мероприятий должен быть республиканский бюджет. В том случае, если ежегодно будут проводиться поисково-разведочные работы для 40-45 сельских населенных пунктов, то общие работы могут быть выполнены за 5 лет и окончены в 2025 году.

Список литературы

1. Веселов В.В. Гидрогеологическое районирование и региональная оценка ресурсов подземных вод Казахстана // НИЦ «Гылым». – Алматы, 2002. – С. 23
2. Регионы в цифрах: Как развивается ВКО. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/regionyi-v-tsifrah-kak-razvivaetsya-vko-381673/ (дата обращения: 25.08.2020).

Получено 3.11.2020

МРНТИ 28.23.29

М.А. Карменова¹, А.С. Тлебалдинова², С.С. Смаилова¹, Г.В. Попова¹

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

²Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В статье приведены результаты пространственной кластеризации сейсмических данных методом DBSCAN. Результаты кластерного анализа данных показали кластеры землетрясений, определяющие их классы по очагам. Также в статье представлена информационная модель системы применения алгоритма пространственной кластеризации сейсмических данных о землетрясениях, приведена графическая визуализация сейсмических данных землетрясений по магнитудам.

Мақалада DBSCAN әдісімен сейсмикалық деректерді кеңістіктік кластерлеу нәтижелері келтірілген. Деректерді кластерлік талдау нәтижелері ошақтары бойынша олардың кластарын анықтайтын жер сілкіністерінің кластерлерін көрсетті. Сондай-ақ, мақалада жер сілкінісі туралы сейсмикалық деректерді кеңістіктік кластерлеу алгоритмін қолдану жүйесінің ақпараттық моделі келтірілген. Бұдан басқа, магнитудасы бойынша жер сілкіністерінің сейсмикалық деректерін графикалық визуалдау нәтижесі бейнеленген.

The article presents the results of spatial clustering of seismic data using the DBSCAN method. The results of the cluster analysis of the data showed the clusters of earthquakes, which determine their classes according to the sources. Also, the article presents an information model of the system for applying the algorithm for spatial clustering of seismic data on earthquakes. In addition, a graphical visualization of seismic data of earthquakes by magnitude is presented.

Ключевые слова: DBSCAN, пространственная кластеризация, кластер, ИИС.

Особое значение в Республике Казахстан уделяется исследованиям в области фундаментальных и прикладных исследований, среди которых важную позицию составляют вопросы по обеспечению сейсмической безопасности. Существуют различные институты и центры, занимающиеся актуальными проблемами сейсмической безопасности всей страны, а также активным внедрением информационных разработок в свою деятельность. В основе таких разработок применяются различные технологии, среди которых мало используются методы машинного обучения. Эффективность же применения методов машинного обучения во многих сферах человеческой жизни все больше и больше доказывает их применимость, на основе них развиваются различного рода аналитические платформы, тем самым расширяются границы исследовательской деятельности в целом.

Так, к примеру, в исследовательской работе [1] авторы представляют экспертную систему, которая основана на правилах убеждений (BRBES). Данная экспертная система может предсказывать землетрясения в условиях неопределенности. В качестве набора данных использованы исторические данные о различных землетрясениях в мире, где особое внимание уделяется данным, связанным с поведением животных, окружающей средой и химическими изменениями. Авторы проверяют точность своей методики в сравнении с экспертной системой на основе нечеткой логики (FLBES) и системой на основе искусственных нейронных сетей (ANN). Результаты сравнений для экспертной системы авторов показали высокую точность и надежность.

В работе [2] исследователи применяют компьютерный интеллект для прогнозирования магнитуды землетрясения на Андаманско-Никобарских островах с помощью адаптивной системы нейро-нечеткого вывода (ANFIS). В основе предлагаемой модели используются искусственная нейронная сеть (ANN) и система нечеткого вывода (FIS) для создания успешного синергетического эффекта. Доступ к набору данных о землетрясениях был получен из Европейско-Средиземноморского сейсмологического центра. В наборе данных рассматриваются основные характеристики, такие как долгота, широта, глубина, магнитуда прошлых сейсмических событий. В исследовании измеряется производительность модели со ссылкой на среднеквадратичную ошибку.

В следующей работе [3] проводится анализ сейсмичности на основе каталога землетрясений для региона Кипра. На следующем этапе исследования проводится расчет сейсмических характеристик (60 сейсмических индикаторов) и краткосрочный прогноз сейсмической активности с использованием методов машинного обучения. В прогнозировании сейсмической активности были использованы три алгоритма машинного обучения: искусственные нейронные сети, метод опорных векторов (SVM) и случайные леса (RF). В работе [4] также применялись различные алгоритмы машинного обучения (метод опорных векторов (SVM), алгоритмы К-ближайшего соседа (KNN), случайного леса (RF) и наивный Байес (NB)) для прогнозирования землетрясений с использованием набора сейсмических данных Индии. В основе работы [5], как и в предыдущей работе, применены алгоритмы машинного обучения для прогнозирования будущих землетрясений путем наблюдения за образцами афтершоков. Тем самым, можно приводить большое количество исследований, в основе которых активно применяются методы машинного обучения для анализа сейсмических данных и разработки интеллектуально-аналитических систем.

В рассматриваемой статье для анализа пространственных сейсмических данных использован набор данных из открытого источника ТОО «СОМЭ» АО «Национальный центр сейсмологических наблюдений и исследований».

Набор данных (табл. 1) о землетрясениях состоит из нескольких атрибутов, таких как дата (день/месяц/год) происшествия, точное время по Гринвичу (час/минута/секунда), широта, долгота, глубина, энергетический класс и магнитуда. Общее количество записей в наборе данных составляет 1742 записи (в интервале с 2012 года по 2020 год сентябрь месяц) [6].

Таблица 1

Набор данных

Дата	Время по Гринвичу	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	Глубина, км	Энерг. класс, Кр	Магнитуда MPVA
14.10.2012	16:30:00	40.88	74.17	15	10.8	4.7
12.10.2012	18:08:00	40.82	76.97	0	9.8	4.2
12.10.2012	7:18:00	43.05	78.22	20	9	4.4
11.10.2012	10:58:00	44.13	78.95	20	8.1	3.6

При кластеризации пространственных данных о землетрясениях методом DBSCAN были использованы долгота и широта. Алгоритм кластеризации DBSCAN отличается от других методов кластеризации (к примеру, k-means) тем, что ему не требуется предварительно задавать количество кластеров. Одним из преимуществ данного метода является то, что он может определять кластеры сложной формы. Также DBSCAN способен определять точки в наборе данных, которые не принадлежат к какому-либо кластеру [7]. В методе DBSCAN предполагается, что кластеры представляют собой точки, которые образуют некоторые плотные «сгустки» точек [8]. Количество кластеров определяется во время работы алгоритма и зависит от параметров. Суть алгоритма заключается в следующем: для каждого объекта кластера окрестность заданного радиуса (Eps) должна содержать как минимум минимальное количество объектов (MinPts = 3). Данные точки из набора данных представляют географические координаты. В процессе предобработки данных координаты преобразованы в радианы. Так как эти точки находятся на поверхности земли, то для правильного вычисления расстояния между географическими положениями была использована метрика расстояния 'haversine'.

В ходе экспериментального исследования были получены результаты кластеризации, которые представлены на рис. 1.

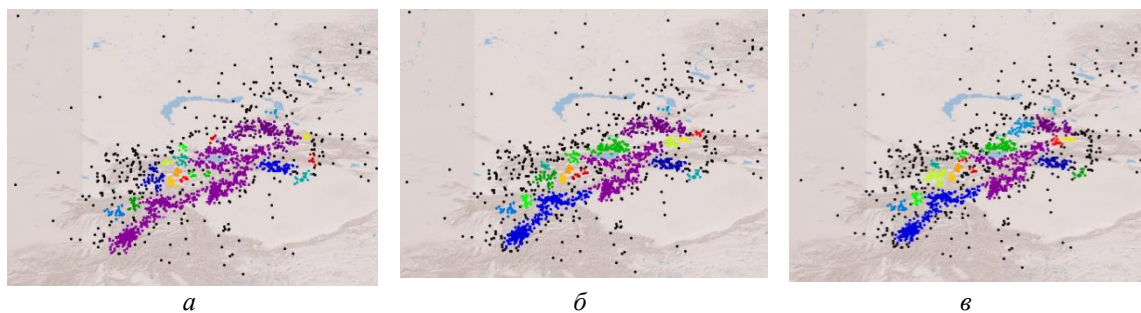


Рисунок 1 – Результат кластеризации: а) при $Eps = 0.005$, $MinPts = 6$; б) при $Eps = 0.005$, $MinPts = 7$; в) при $Eps = 0.005$, $MinPts = 8$

В результате проведенных экспериментальных исследований выявлены наиболее оптимальные значения параметров алгоритма DBSCAN: Eps = 0,005, MinPts = 6, 7, 8.

Результаты исследования, а также методика пространственной кластеризации сейсмических данных методом DBSCAN были интегрированы в один из модулей разработанной ИИС (интеллектуальная информационная система) (рис. 2).

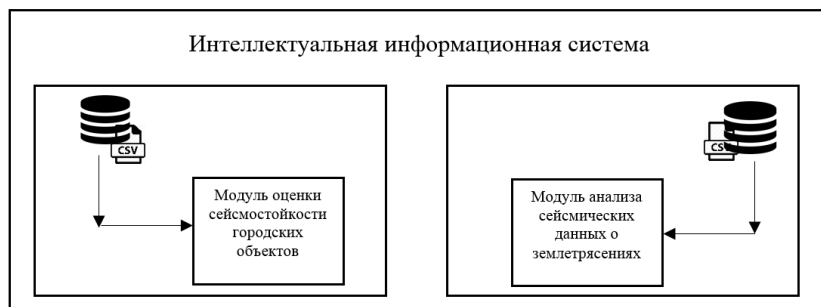


Рисунок 2 – Общая структура ИИС

Информационная модель модуля ИИС для анализа и пространственной кластеризации сейсмических данных представлена на рис. 3. Визуализация сейсмических данных о землетрясениях по магнитуде представлена на рис. 4.

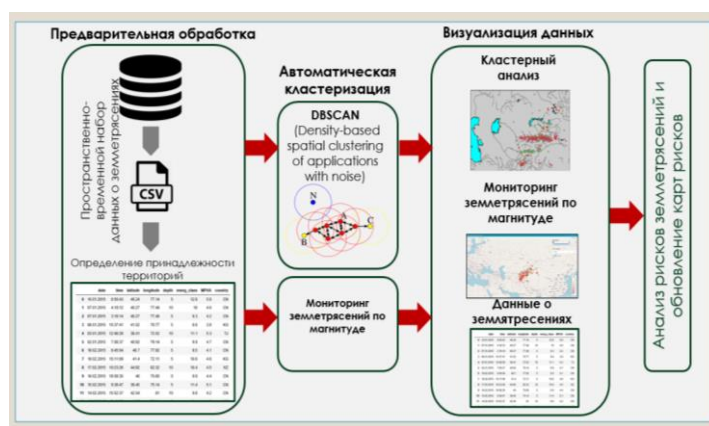


Рисунок 3 – Информационная модель модуля ИИС

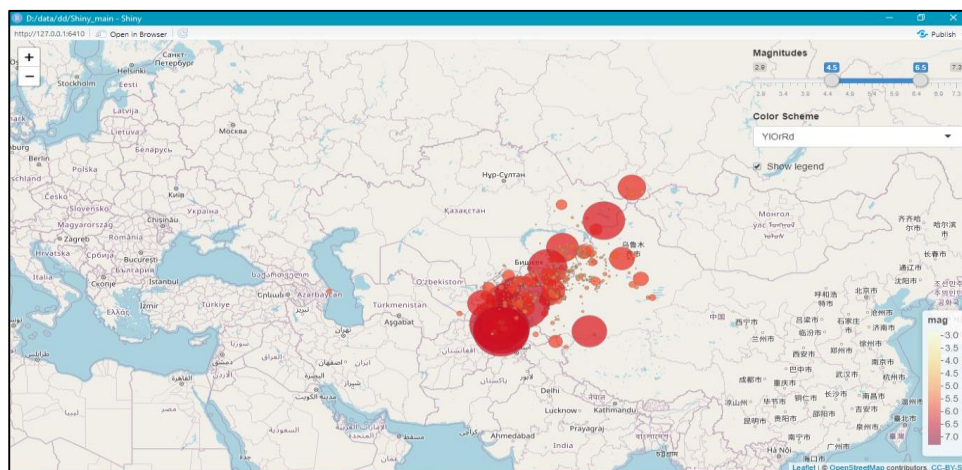


Рисунок 4 – Визуализация сейсмических данных о землетрясениях по магнитуде

Подведем итоги: в нашей работе для анализа набора сейсмических данных о землетрясениях использовался плотностный алгоритм кластеризации пространственных данных с присутствием

шума DBSCAN. В результате исследования при обработке набора данных по географическим координатам были определены территориальные принадлежности очагов землетрясений в пространстве. Результаты кластерного анализа данных показали кластеры землетрясений, определяющие их классы по очагам. Следовательно, DBSCAN может использоваться для зонального анализа сейсмичности и эффективно определяет границы кластеров. Кроме этого, результат и алгоритм пространственной кластеризации методом DBSCAN интегрированы в модуль ИИС для анализа и пространственной кластеризации сейсмических данных.

Список использованной литературы

1. Hossain, M.S.; Al Hasan, A.; Guha, S.; Andersson, K. A Belief Rule Based Expert System to Predict Earthquake under Uncertainty. J. Wirel. Mob. Netw. Ubiquitous Comput. Dependable Appl. 2018, 9, 26-41.
2. Kamath, R.S.; Kamat, R.K. Earthquake Magnitude Prediction for Andaman-Nicobar Islands: Adaptive Neuro Fuzzy Modeling with Fuzzy Subtractive Clustering Approach. J. Chem. Pharm. Sci. 2017, 10, 1228-1233.
3. Asim, K.M.; Moustafa, S.S.; Niaz, I.A.; Elawadi, E.A.; Iqbal, T.; Martínez-Álvarez, F. Seismicity analysis and machine learning models for short-term low magnitude seismic activity predictions in Cyprus. Soil Dyn. Earthq. Eng. 2020, 130, 105932. [CrossRef]
4. Vasti, M.; Dev, A. Classification and Analysis of Real-World Earthquake Data Using Various Machine Learning Algorithms. In Lecture Notes in Electrical Engineering; Springer: Singapore, 2019. – P. 1-14.
5. Karimzadeh, S.; Matsuoka, M.; Kuang, J.; Ge, L. Spatial Prediction of Aftershocks Triggered by a Major Earthquake: A Binary Machine Learning Perspective. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2019, 8, 462. [CrossRef].
6. M. Karmenova, A. Tiebaldinova, M. Madiyarov, Zh. Zhantassova. SPATIAL ANALYSIS OF THE EARTHQUAKES DISTRIBUTION IN KAZAKHSTAN FOR RISK MAPPING // Тезисы докладов, Международ. научно-практ. конф. «Computational and Information Technologies in Science, Engineering and Education» (CITech-2020), посв. 1150-летию аль-Фараби, 9-10 октября 2020. – Алматы, 2020. – С. 48.
7. R. J. G. B. Campello, D. Moulavi, A. Zimek, J. Sander, Hierarchical Density Estimates for Data Clustering, Visualization, and Outlier Detection, ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data, 2015, vol 10. – P. 5:1-5:51.
8. M. Ester, H.-P. Kriegel, J. Sander, X. Xu. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. Proc. 2nd Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96). AAAI Press, 1996. – P. 226-231.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 53.37.33

Д.Б. Касымова¹, М.Э. Әділканова¹, Г.А., С.В. Мамяченков², Н.В. Сизикова³

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

²Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, РФ

³Филиал РГП «НЦКПМС РК» «ВНИИцветмет», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

МЕТОДЫ СЕЛЕКТИВНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ЗОЛОТА И МЕДИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ МЕДИ

Выполнен анализ текущего состояния проблемы переработки золотосодержащего сырья с повышенным содержанием меди. Обобщены сведения о существующих и применяемых в промышленной практике методах селективного разделения золота и меди на стадии выщелачивания в зависимости от форм нахождения меди в исходном сырье. При проведении ряда исследований по

переработке золотосодержащего сырья методом цианидного выщелачивания также отмечено отрицательное влияние повышенного содержания в нем меди как на показатели цианирования, так и на последующие технологические процессы. Поэтому одним из актуальных и перспективных направлений исследований в настоящее время является решение проблемы селективного разделения золота и меди.

Мыстың мөлшері жоғары құрамында алтыны бар шикізатты өңдеу проблемасының ағымдағы жағдайының талдауы орындалады. Бастапқы шикізатта мыстың болу формасына байланысты шаймалау сатысында өнеркәсіптік тәжірибеде бар және қолданыстағы алтын мен мысты селективті бөліп алу әдістері туралы мәліметтер жинақталған. Құрамында алтыны бар шикізатты цианидті ерітінділеу әдісімен өңдеу бойынша бірнеше зерттеу жүргізу кезінде цианидтау процесі мен ары край технологиялық операциялар көрсеткіштеріне құрамындағы мыстың мөлшері жоғары болғандықтын теріс өсері белгіленген. Сондықтан зерттеудің маңызды және перспективті бағыттардың бірі қазіргі таңда алтын мен мысты селективті бөліп алу.

There has been performed the analysis of the current state of processing gold-bearing raw materials with an increased copper grade. The article summarizes the data on existing and applied in industrial practice methods of selective separation of gold and copper at the leaching stage depend on the forms of copper presence in the raw materials. A number of studies on the processing of gold-bearing raw materials by the cyanide leaching also found a negative effect of the increased copper content both on the cyanidation process indicators and on subsequent technological operations. Therefore, one of the topical and promising research is to solve the problem of selective separation of gold and copper.

Ключевые слова: золото, золотосодержащая руда, минералогия, медный концентрат, технология извлечения благородных металлов, методы, форма нахождения меди.

Республика Казахстан является одним из древнейших регионов добычи золота. По состоянию на 1 января 2020 года основные запасы золота (категории А+В+С₁) сосредоточены у таких крупных компаний, как ТОО «Казцинк» (32 %), ТОО «Корпорация Казахмыс» (19 %), ТОО «Бакыр-чикское ГДП» (18 %), АО «ГМК Казахалтын» (5%), АО «Майкаинзолото» и ТОО «Коксай Музбель» (по 3 %) и других [1].

В настоящее время в республике насчитывается более двух тысяч месторождений и проявлений золота, из них разведанных около 200 и эксплуатируемых не менее 70 [2]. Запасы золота сосредоточены в 199 месторождениях, в том числе в 127 коренных месторождениях, 40 комплексных и 32 россыпных [3-4].

Основой технологии извлечения благородных металлов из руд коренных месторождений является цианидный процесс, посредством которого добывается до 90 % золота и значительное количество серебра. Существует, однако, категория так называемых упорных руд, прямое цианирование которых либо вообще невозможно (без применения дополнительных дорогостоящих технологических операций), либо характеризуется низкими показателями извлечения. К числу упорных относятся и золотосодержащие руды с повышенным содержанием меди, месторождения которых достаточно распространены в мире, в том числе и в Казахстане. Особенностью данных руд является то, что медь в них рассматривается не только как попутный ценный компонент, но в еще большей степени как вредная минеральная примесь, осложняющая процесс цианидного выщелачивания золота из-за высокого расхода цианида (2-4 кг NaCN на 1 кг меди в руде), трудностей выделения золота из растворов и создаваемых медью дополнительных экологических проблем.

Выбор оптимальной технологической схемы переработки таких руд с целью подавления вредного влияния медных минералов и селективного разделения золота и меди определяется главным образом формами нахождения меди в золотосодержащих рудах. Возможны три типичных случая нахождения меди в золотосодержащем сырье (рудах и концентратах):

- в водорастворимой сульфатной форме;
- главным образом в оксидных минералах (включая карбонаты и хризоколлу);
- преимущественно в сульфидной форме (ковеллин, халькозин, борнит и др.).

Все методы металлургической переработки золотосодержащих руд с повышенным содержанием меди можно разделить на две группы:

I – методы, предполагающие селективное разделение меди и золота уже на стадии выщелачивания рудного сырья;

II – методы, основанные на коллективном выщелачивании меди, серебра и золота цианидсодержащими и другими растворителями с последующим их разделением.

Методы переработки золотосодержащего сырья с повышенным содержанием меди в зависимости от форм ее нахождения, предполагающие селективное разделение металлов (золота и меди) уже на стадии выщелачивания, (первая группа) обобщены и приведены в виде схемы на рис. 1.



Рисунок 1 – Методы разделения золота и меди в зависимости от форм ее нахождения в исходном золотосодержащем сырье

Рассмотрим более подробно методы, основанные на коллективном выщелачивании меди, серебра и золота цианидсодержащими и другими растворителями с последующим их разделением.

В зависимости от формы присутствующей меди продуктами ее взаимодействия с растворами цианида натрия (калия) являются растворимые комплексы $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{CN})_3$ и $\text{Na}_3\text{Cu}(\text{CNS})(\text{CN})_3$, которые при значительной концентрации меди в растворах могут служить источником получения дополнительной медьсодержащей товарной продукции.

Так, например, на австралийской фабрике *Vorrego* выделяемый при обогащении руды медный концентрат (24 % меди; 0,7 % висмута; 20 г/т золота) подвергают цианированию с последующим осаждением меди и золота цинковой пылью. Полученные осадки обрабатывают серной кислотой, обжигают и плавят на черновое металлическое золото. Кислотный раствор обрабатывают в отдельном цикле с целью извлечения меди [5].

На фабрике *Магма Коннер* (США) цианирование используют с целью выведения меди из черного молибденового концентрата (91 % MoS_2 ; 1,0% меди; 13,7 г/т золота). Медь в концентрате представлена, в основном, сажистым халькопиритом, относительно легко растворяющимся в растворе цианида натрия. Процесс цианирования ведут по обычной технологии: агитационное выщелачивание и двухстадиальная фильтрация пульпы на дисковых фильтрах с промежуточной распульповкой кека обеззолоченным цианистым раствором. Осаждение меди и золота из растворов осуществляют цинковой пылью (0,25 кг на 1 т раствора) в присутствии ацетата свинца (0,13 кг/т). Получаемый осадок, содержащий 28 % меди, 8 % цинка, 4850 г/т золота и 6130 г/т серебра, отгружают для дальнейшей переработки на медеплавильный завод. Производительность цианистого цикла составляет 350 т концентрата в сутки. Несмотря на высокий расход цианида натрия (25 кг на

1 т концентрата), процесс признан экономически выгодным в связи с попутным извлечением меди и более высоким качеством получаемого молибденового концентрата.

На фабрике *Бэтонг Бэхай*, где цианированию подвергаются хвосты амальгамации гравитационного концентрата и хвосты флотационной перерешетки медного концентрата, была сделана попытка процианировать на месте и часть золото-медного концентрата (в связи с высокими транспортными расходами по перевозке этого концентрата на медеплавильный завод). Однако данный вариант оказался экономически нецелесообразным из-за очень высокого расхода цианида: около 30 кг на 1 т концентрата.

Осаждение меди из цианидных растворов может быть осуществлено и серусодержащими осадителями: сульфидом натрия (кальция), сероводородом, с одновременным подкислением растворов [6]. При этом, наряду с осаждением сульфида меди, происходит регенерация до 94 % цианида за счет протекания реакции:



Безвозвратный расход цианида натрия в этих условиях составляет 0,2-0,3 кг на 1 кг извлекаемой меди.

Возможны и другие способы регенерации медьсодержащих цианидных растворов.

В патенте [7] рассмотрен способ двухстадийного выделения золота и меди из коллективных цианидных растворов. Одним из необходимых условий является поддержание соотношения $\text{CN}:\text{Cu}$ в выщелачивающих растворах не ниже 4:1. Золото из растворов выделяют цементацией металлической медью, продукт цементации подвергают электрорафинированию или плавке. Далее раствор поступает на электроосаждение меди. При этом соотношение $\text{CN}:\text{Cu}$ снижается до $\leq 4:1$. Избыток цианида удаляют кислотой до $\text{pH} = 1,5-2$, в результате чего образуется осадок CuCN и газообразный HCN , поглощаемый раствором щелочи. Электроосаждение меди осуществляют в электролизере с разделенным перфторосульфоновой мембраной катодным и анодным пространством. Анодом в электролизере служит водородный газовый диффузионный электрод, на котором водород расходуется в анодной реакции, препятствуя окислению CN^- -ионов. В анодном отделении поддерживается pH раствора более 7 путем добавки основания или основной соли. Цианидный раствор после электролиза возвращается в операцию выщелачивания руды. Раствор с соотношением $\text{CN}:\text{Cu} \leq 4:1$ поступает в катодное отделение. Осаждающаяся на катоде металлическая медь периодически сдвигается и направляется на плавку. Выделяемый при подкислении раствора осадок цианида меди смешивается с катодом (из катодного отделения электролизера).

Вариант извлечения золота и меди из комплексных цианидных растворов с одновременной регенерацией цианида, разработанный фирмой AMDEL (процесс «Cutech»), основан на подкислении растворов до $\text{pH} = 3$ с улетучиванием HCN и образованием осадка двойных цианидных соединений меди и золота ($\text{AuCN}-\text{CuCN}$ и др.). Последующая селекция металлов (получение богатого золотосодержащего раствора и металлической меди) производится на стадии переработки осадка [5]. Как и в других описанных выше вариантах, осаждению меди и золота должно предшествовать глубокое осветление растворов, что с экономических позиций ограничивает круг медно-золотых (золото-медных) руд, которые могут быть переработаны методом прямого цианирования с комплексным извлечением обоих ценных компонентов.

Определенного внимания заслуживает способ переработки медь- и золотосодержащих цианидных растворов с использованием активированных углей. При поддержании достаточно высокой концентрации свободного цианида происходит селективная сорбция золота на уголь. Данный факт, в частности, подтверждается практикой работы австралийского предприятия кучного выщелачивания *Ред Доум*.

Рабочие растворы, поступающие на сорбцию в колонны с активированным углем, содержат 1 мг/дм^3 золота, 1500 мг/дм^3 меди и 500 мг/дм^3 свободного цианида натрия (pH растворов 11,5), а насыщенные угли – 5 кг золота и 6 кг меди на 1 т. Присутствующая в углях медь относительно легко десорбируется холодным 5 %-ным раствором цианида натрия на стадии предварительного элюирования в виде комплексов $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$ и $\text{Cu}(\text{CN})_4^{2-}$. Золото при этом практически не десорбируется.

Последующая переработка обеззолоченных цианистых растворов может быть осуществлена по схеме, включающей осветление растворов, их подкисление (с возгонкой и улавливанием HCN) и осаждение меди по одному из описанных выше методов.

Бывальцевым А.В. с сотрудниками ОАО «Иргиредмет» предложен способ переработки золото-медистых руд, включающий кучное выщелачивание золота цианидным раствором с использованием оборотного раствора прохождением раствора через рудный штабель, сорбцию золота из продуктивного раствора активным углем, десорбцию золота насыщенного угля и электролиз элюатов [8]. При этом осуществляют подкрепление оборотного раствора по цианиду после прохождения раствора через рудный штабель перед сорбцией, вследствие чего концентрация цианида натрия в растворах, поступающих на сорбцию, повышается. Это приводит к увеличению среднего координационного числа меди, связанной в цианидных комплексах, и снижению ее сорбции активным углем, что влечет за собой снижение емкости угля по меди, ее концентрации в золотосодержащих элюатах и в катодных осадках. Таким образом, способ позволяет улучшить качество катодных осадков за счет снижения сорбции меди активным углем.

Ионообменные смолы по сравнению с углями имеют более высокую степень насыщения по золоту и лучшую кинетику сорбции. Болотовой Л.С. с сотрудниками (Казмеханобр) предложен способ кучного выщелачивания золота из золотосодержащих руд с последующим извлечением золота из продуктивного раствора синтетическими сорбентами – полифункциональными анионитами AM-2Б, Purolite A100/2412 и D 301 G.

Полифункциональные аниониты имеют меньшую селективность по отношению к золоту, чем активированные угли, и наряду с золотом сорбируют цианистые соединения тяжелых металлов, в том числе и меди, что приобретает особенно важное значение при переработке поликомпонентных золотосодержащих руд. Как правило, отношение массы ионита, используемого для сорбции золота, к массе суммы тяжелых металлов-примесей, содержащихся в виде комплексных цианидных соединений, не превышает шести, в связи с чем большая часть металлов-примесей после сорбции золота остается в растворе.

Многократное использование растворов после сорбции золота в обороте при кучном выщелачивании приводит к накоплению металлов-примесей и снижению извлечения золота из руды. В патенте [9] предложен способ кучного цианидного выщелачивания поликомпонентной золотосодержащей руды, отличающийся тем, что растворы после сорбции золота кондиционируют анионитом (подвергают дополнительной обработке) по комплексным цианидным соединениям тяжелых металлов при отношении массы анионита, используемого для кондиционирования раствора, к массе суммы тяжелых металлов-примесей равном 8-55. Предлагаемый способ позволяет на 2,36-5,05 % повысить извлечение золота из руды.

Разработанная Казмеханобром технология на Васильковском ГОКе и руднике «Мизек» позволила вовлечь в переработку окисленные золотомедные руды, которые ранее не перерабатывались.

В последние годы вновь возник интерес к аммиачному цианированию золотосодержащих руд с повышенным содержанием меди.

Сущность данного метода (запатентованного Б. Хантом в 1901 г.) заключается в обработке руды смесью аммиака и цианида. Данный способ позволяет достичь относительно высоких показателей извлечения золота при умеренном переходе в раствор меди, в отличие, например, от последовательного выщелачивания аммиачными и цианидными растворами. Так, испытаниями, проведенными в 1988 г. на лежалых хвостах флотации фабрики *Пэрис* (Австралия), содержащих 1,2 % меди и 6,0 г/т золота, показали, что добавка аммиака в количестве 5 кг на 1 т хвостов сокращает общий расход цианида с 20 до 1,5 кг. При этом в растворы извлекается около 70 % золота и 35 % меди.

В работе [5] рассмотрен механизм химических реакций, протекающих в условиях аммиачно-цианидного выщелачивания. Установлено, что присутствие в цианидных растворах аммиака приводит к образованию медьсодержащего комплекса $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2(\text{CN})_2$, который взаимодействует с металлическим золотом по реакции:



Данная реакция протекает без участия кислорода и свободного CN^- . Однако отмечено, что при отсутствии активного цианида возможно самопроизвольное осаждение золота из растворов, вероятными причинами чего могут являться либо образование соединений типа AuCN , CuCN , либо адсорбция $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ на выпадающие в осадок оксиды меди. Поэтому рекомендуется вести процесс с периодическим подкреплением растворов по CN^- (стадиальные добавки цианида) с постоянным контролем за концентрацией Cu , Au и NaCN в растворах.

Установлено, что оптимальное извлечение золота в растворы при минимальном извлечении меди достигается в случае соотношения аммиак: цианид = 2:1. Для руд с более высоким содержанием окисленной меди это соотношение может быть увеличено.

С целью устранения отрицательного влияния ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} на процесс выщелачивания золота рекомендуется вводить в пульпу соответствующие стабилизаторы, стимулирующие выпадение в осадок ферро- и феррицианидов меди $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ и $\text{Cu}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$.

По результатам научно-исследовательских работ комплекс перечисленных выше мероприятий позволяет достигать весьма высоких показателей извлечения золота при обработке окисленных медных руд описанным методом [10-11].

В институте «Иргиредмет» в период с 2006 по 2010 гг. проведен широкий комплекс исследований по изучению процесса аммиачного цианирования и оценены возможности его промышленного применения. Объектом исследований являлась медистая золотосодержащая руда одного из российских месторождений, находящегося в стадии промышленной эксплуатации, с содержанием золота 9,4 г/т, на 59 % представленного свободными металлическими зернами и на 36 % в виде сростков с рудными и породообразующими минералами. Медь представлена в руде многочисленной группой минералов: сульфидами (халькопирит, борнит, халькозин), карбонатами (малахит, азурит), а также хризокolloй [12]. По результатам предварительных исследований была определена принципиальная технологическая схема обработки руды, включающая гравитационное обогащение (после предварительного измельчения руды до крупности 90 % класса минус 0,074 мм) с глубокой доводкой первичного концентрата и плавкой получаемой «золотой головки» (содержание золота – 180 кг/т при его извлечении 45-50 %) на сплав Доре и цианирование хвостов гравитации вместе с промпродуктом перераспределения концентрата по стандартной технологии СР («уголь в пульпе») с получением катодных золотосодержащих осадков, также подвергаемых плавке. Данная схема, испытанная в полупромышленном масштабе на установках Иргиредмета, обеспечивает достаточно высокое извлечение золота (от руды до конечной продукции – металла) – 91,5 %, однако имеет ряд недостатков, главными из которых являются:

- высокий удельный расход реагентов: цианида натрия и гипохлорита кальция – 4,5 и 13,5 кг/т руды соответственно;

- повышенное содержание золота в жидкой фазе хвостовой пульпы (0,2 г/т).

С целью улучшения технологических показателей процесса цианирования были проведены исследования по переработке хвостов гравитационного обогащения исследуемой руды с применением аммиачного цианирования.

В процессе технологических исследований были сопоставлены два варианта извлечения золота: прямое аммиачно-цианидное выщелачивание и цианирование с предварительной аммиачной обработкой руды (в течение двух часов).

При общей продолжительности процесса 24 часа установлено, что оба варианта обеспечивают примерно одинаковые показатели как по извлечению золота в раствор (~90 %), так и по расходу цианида натрия в цикле выщелачивания (1,0-1,5 кг/т руды). В данных условиях как более предпочтительный был выбран вариант прямого аммиачного цианирования при концентрации цианида натрия 0,5 г/л, карбоната аммония – 5-10 г/л, отношении Ж:Т = 1,5:1 и pH = 9,8. Введение в цианидные растворы при выщелачивании руды солей аммония позволяет в 3 раза уменьшить количество меди, переходящей в раствор, и пропорционально снизить расход цианида натрия на переработку руды.

Для оценки возможности выделения золота из аммиачно-цианидных растворов были испытаны следующие методы:

- метод цементации на цинковую пыль;
- сорбционное извлечение с применением активированного угля и ионообменной смолы.

Установлено, что в цикле цементации – более 95 % с минимальным выделением в цементат меди (8-9 % от исходного содержания в растворах) приемлемая степень осаждения золота достигается из растворов, содержащих 1,5 г/дм³ цианида натрия; 1,9 мг/дм³ золота; 490 мг/дм³ меди; 0,5 мг/дм³ цинка; 0,8 г/дм³ гидроксида аммония при pH = 9,8. Показана принципиальная возможность полного извлечения меди в осадок при условии снижения исходной концентрации цианида натрия в растворах с 1,5 до 0,15 г/дм³ и менее.

В качестве сорбентов золота и меди использовали активный уголь марки JX-120 и низкоосновную смолу «Purogold». По результатам экспериментов (изотермы сорбции) установлено, что в отсутствии свободного цианида и при низких концентрациях цианида натрия (0,15 г/л) медь сорбируется на угле и смоле более эффективно, чем золото. Емкость активного угля по меди составляет 50-55 мг/г, по золоту – 0,75-0,8 мг/г. Для смолы при равновесных концентрациях по золоту 0,8 мг/л и по меди 100 мг/л эти показатели соответственно равны 115 и 2,2-2,3 мг/г. С увеличением концентрации цианида натрия в растворах до 0,4-1,0 г/л емкость обоих сорбентов по золоту сохраняется на уровне 2,0-2,5 мг/г, а по меди снижается в 10-20 раз (до 5-10 мг/г) при коэффициентах распределения золота и серебра порядка 6000-9000 и 10-20, что указывает на достаточно высокую селективность исследуемых сорбентов по отношению к золоту в данной химической среде.

Планируемые исследования являются продолжением цикла работ и направлены на более углубленное изучение вещественного состава золотосодержащих руд, а также форм нахождения меди в рудах, в пульпах сорбционного цианидного выщелачивания золота и в продуктивных растворах кучного выщелачивания золота, влияния их на процессы выщелачивания и сорбции золота с целью оптимального управления процессом выщелачивания. Представляется, что нивелировать отрицательное влияние меди можно оптимизацией схем переработки, а затраты на соответствующее усложнение схем компенсировать получением помимо сплава Доре дополнительной высококачественной товарной продукцией меди и некоторым увеличением извлечения благородных металлов.

Список литературы

1. Международный деловой журнал KAZAKHSTAN. – 2013. – №3.
2. Месторождения золота Казахстана / Под ред. А.А. Абдуллина, Х.А. Беспяева, Э.С. Воцалевского и др.: Справочник. – изд. 2-е. – Алматы, 1997. – 166 с.
3. Ананин А.И., Шумский В.А. Горно-металлургический комплекс Восточного Казахстана // Материалы VII Междунар. конф., Усть-Каменогорск, 23 мая 2013 г. – Усть-Каменогорск: ВНИИцветмет. – 2013. – С. 14-22.
4. Болотова Л.С., Романенко А.Г. Инновационные разработки и технологии в области благородных металлов // Промышленность Казахстана. – 2013. – № 8. – С. 24-26.
5. Лодейщиков В.В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд: В 2-х томах. – Т. 2. – Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 1999. – 452 с.
6. Пат. 2443791. Рос. Федерация. Способ кондиционирования цианидсодержащих оборотных растворов переработки золотомедистых руд с извлечением золота и меди и регенерацией цианида / Войлошников Г.И., Петров В.Ф., Петров С.В., Файберг А.А.; заявл. 13.07.2010; опубл. 27.02.2012.
7. Пат. 5411575 США, МКИ⁶ C22B 11/08/ Hydrometallurgical extraction process / C.A. Fleming, W.G. Grot, J.A. Thorpe; E.I. Du Pont de Nemours and Co. – 217912; заявл. 25.3.94; опубл. 2.5.95; НКИ 75/743.
8. Пат. 2385961. Рос. Федерация. Способ переработки золотомедистых руд / Бывальцев А.В., Ращенко А.Ф., Мусин Е.Д., Войлошников Г.И., Войлошникова Н.С.; заявл. 20.03.2008; опубл. 10.04.2010.
9. Пат. РК. 18531. Способ кучного выщелачивания золота из поликомпонентных золотосодержащих руд / Болотова Л.С., Ахметов Н.И., Сыздыков Е.К., Романенко А.Г.; заявл. 11.07.2005; опубл. 15.06.2007.
10. Пат. 2427655. Рос. Федерация. Способ извлечения золота из золотосодержащей медистой руды / Лодейщиков В.М., Хмельницкая О.Д., Курнышевская О.Н.; заявл. 11.01.2010; опубл. 27.08.2011.

11. Пат. 2418082. Рос. Федерация. Способ переработки сульфидных золотомедных концентратов с извлечением золота / Коблов А.Ю., Дементьев В.Е.; заявл. 12.11.2009; опубл. 10.05.2011.
12. Лодейщиков В.М., Хмельницкая О.Д., Войлошников Г.И. Аммиачное цианирование медистых золотых руд // Цветные металлы. – 2010. – № 8. – С. 37-40.

Получено 3.11.2020

MFTAA 371.31.9

Қ.Т. Сапаров¹, Н.Ж. Женсикбаева², Н.С. Құдайбергенова²

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ.

²С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ.

ГЕОГРАФИЯ КУРСЫН ОҚЫТУДА ЖАҢАРТЫЛҒАН БІЛІМ БЕРУ БАҒДАРЛАМАСЫ НЕГІЗІНДЕ ОҚЫТУДЫҢ ЖАҢА ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ

Мақалада жаңартылған білім беру бағдарламасы бойынша география пәнінде қолданылатын интербелсенді әдістер туралы баяндалған. Жер ғылымдарын оқытудағы тиімді әдіс тәсілдер талданған.

В статье изложены интерактивные методы, используемые в географии по обновленной образовательной программе. Проанализированы эффективные методы обучения Науки о земле.

The article describes the intraactive methods used in geography according to the updated educational program. Effective methods of teaching Earth science are analyzed.

Түйін сөздер: интербелсенді әдіс-тәсілдер, география пәні, оқыту.

XXI ғасырда білім мен ғылымның жаңа белесі басталмақ. Ұлттық білім деңгейін әлемдік білім кеңістігіне енгізу арқылы өркениетті мемлекет құруға қадамдар жасалды [1]. Ал өркениетке жеткізетін жол – білім мен ғылым жолы екендігі жұртшылыққа мәлім. Демек, білім беру проблемасы қоғамдағы өзекті проблемалардың бірі болып табылады. Қай кезеңде болсын, елдің қоғамдық саяси дамуындағы білім мен тәрбиенің алар орнына жоғары баға беріліп, білім беру мәселесіне жан-жақты көңіл бөлген. Осы тұрғыда білім беру саласындағы тың өзгерістердің бірі – жаңартылған білім беру бағдарламасына көшу [2].

География пәні – өзіндік ерекшелігі бар, әрбір оқушыны қызықтыра білетін, тылсым ғажайып сырға толы пән. География пәнінің тағы бір ерекшелігі оқушылар өздігінен ізденіп, білім дағдысын толықтыруға, қосымша мәліметтер жинақтауға, сөзжұмбақтар құрастыру, рефераттар даярлау, интернет жүйесін қолдану, слайдтар жасау сияқты жұмыс түрінен өткізуге тиімділігі. Әрине мұндай заман талабына сай білім беріп, ынталандыру үшін сабақты қызықты әрі түрлендіре өткізу қажет. Қазіргі таңда педагогика саласында туындап жатқан жаңа технологиялардың маңызы зор. Мұндай сабақтар оқушының пәнге деген қызығушылығын арттырады. Сонымен қатар логикалық ойлау, есте сақтау қабілеттерін дамытады. Осы мақсатымды жүзеге асыру үшін келесі деңгейлік тапсырмалар «Сандар сөйлейді», «Кім жылдам», «Семантикалық карта», «Адасқан нысанды табу», «Мен – өзенмін», «Тұлғаны тану» сияқты тәсілдерін пысықтау, қорытындылау сабақтарында жиі қолданылады. Жаңартылған білім беру бағдарламасы бойынша оқушылардың білімін төмендегідей әдістер арқылы тексеруге болады [3]:

- топпен жұмыс істеуді ұйымдастыру;
- оқушының өзін-өзі тексеруі;
- оқушылардың бірін-бірі тексеруі;
- оқытудың модельді жүйесі;
- дарынды балалармен жұмыс істеудің жаңаша әдіс-тәсілдерін қолдану жатады.

География пәнінде келесі интербелсенді әдіс-тәсілдерді қолдануға болады. Сабақтың ұйымдастыру кезеңінде: «Шаттық шеңбері», «Жүректен-жүрекке» немесе қызық сұрақтар қою арқылы оқушыларды өтілетін сабаққа тарту, ынтымақтастық атмосферасын қалыптастырудың маңызы зор.

Үй тапсырмасын тексеру барысында көбінесе «Сұрақты ұстап ал», «ыстық орындық», «конверт сұрақ», «аквариумдегі балық», «қар кесегі» миға шабуыл», «суретті жіктеу», «өрмекші торы» сияқты әдіс-тәсілдерді пайдалану тиімді.

Топпен жұмыс барысында «Эссе жазу, бес жолды өлең», «семантикалық карта», «Т» кестесі, «венн диаграммасы», «РАФТ», «кубизм», «алты ойлау қалпағы» «SWOT анализ» әдістерін қолдану тиімді болып табылады. Жаңартылған білім беру бағдарламасы негізінде кеңінен қолданылып келе жатқан әдістердің бірі – оқытудың CLIL әдісі [5]. Бұл әдіс пәнді оқуға және пән арқылы тілді үйренуге бағытталған. Клил әдісін пән мен тілді кіріктіріп оқыту әдістемесі деп те атайды (content and Language Integrated Learning). Ол пәндік және тілдік мақсатты көздейді. Бұл әдіс келесі міндеттерді іске асырады:

- пәнді оқуға және пән арқылы тілді үйренуге бағытталған әдіс;
- екінші немесе үшінші тіл арқылы пәндерді оқу және пәндік салаларды оқу барысында тіл үйренуді жетілдіру, яғни пәндік және тілдік мақсаттарға қатар қол жеткізу;
- тілді мәдениетаралық түсінісуге, халықаралық көзқарасты қалыптастыруға және жалпы білім сапасын жақсартуға дайындық құралы ретінде қарастыратын әдіс.

CLIL ұғымы төрт C-ге негізделеді:

- Content (мазмұн) пәннің мазмұны және негізгі білім;
- Communication (қарым-қатынас) оқуда шетел тілін қолдану, қалай қолдануды білу;
- Cognition (ойлау) оқушылардың сыни тұрғыдан ойлау қабілетін дамыту;
- Culture (мәдениет), ол ұғымдарды мәтінмен жұмыс жасау арқылы меңгереді.

Сабақты жоспарлау барысында мұғалім оқушылардың пәнді игеру барысында кездесуі мүмкін тілдік қиындықтарды алдын ала көре білу және сол мәселелерді шешу үшін тілдік тіректерді қолдануы тиіс.

Егер басқа тілді оқушыларға біз таза мәтінді беретін болсақ олар осы мәтінде не жазылып тұрғанын білмеуі мүмкін. Осы мәтіндермен бірге мәтіннің мазмұнын ашатындай карта-сұлба, немесе қарапайым суреттерді беруге болады.

Мұғалім тақырып түсіндірген кезде өте қарапайым және күнделікті өмірде қолданып жүрген сөздерді қолдану керек. Тілдік мақсаттарды бірдей қолдану үшін айтылым, жазылым, оқылым, тыңдалым міндеттерін қолданамыз (1-кесте).

1-кесте

Дүние жүзі саяси картасы тақырыбындағы CLIL әдісін қолдану

Дүниежүзінің саяси картасы			
Оқу мақсаты: Осы сабақтың сол мақсатқа қол жеткізудегі үлесі	Саяси картаның қалыптасу кезеңдері, әртүрлі кезең карталарын салыстырып, саяси картадағы сандық және сапалық өзгерістерді салыстыра алу, саяси картадағы өзгерістердің типтерін білу, саяси картадағы өзгерістерге ықпал ететін факторларды білу, оқулықтарда берілген саяси картадағы өзгерістерді сипаттайтын сызбаларды талдай білу.		
Сабақтың мақсаты:	Оқушылар әрбір кезең бойынша берілген саяси карталарды талдайды. Өз бетінше ізденіспен шығармашылық тұрғыда жұмыс істейге дағдыландыру. Өз ойларын еркін де сауатты, нақты жеткізу қабілеттері арттырады. Жан-жақтылыққа, ізденімпаздыққа баулу, тыңдай және сөйлеу білу мәдениетін арттырады.		
Тілдік міндеттер			
Айтылым	Оқылым	Жазылым	Тыңдалым
Оқушылар түрлі карта және суреттерді, сұлбаларды қолдана отырып өз ойларын еркін жеткізеді.	Әрбір жасаған жұмыстарын оқушылар дауыстап сынып алдында оқиды.	Әрбір кезең бойынша берілген картадағы ақпараттарды қолдана отырып, дәптерге саяси картаның қалыптасуын талдайды.	Мұғалім тақтадағы ақпараттарды қолдана отырып, оқушыларға тақырыпты түсіндіреді, оқушылар зейін қойып тыңдайды.

CLIL әдісін қолданып сабақ өткізуде көрнекіліктің маңыздылығына тоқтала кетсек. География сабағына қажетті көрнекілік, жаңаны тану ретінде де, ой немесе әңгімені елестету үшін де, аңғарымдылығын дамыту үшін де, материалды еске сақтау үшін де қолданылады. Көрнекілік құралдар

оқу үрдісінің барлық кезеңдерінде қолданылады: жаңа білімді хабарлаған кезде, кейде мұғалім жаңа білімді хабарлауы орнына (мысалы, кинофильмді көрсету, тәжірибе жасау); білімді орнықтыру және іскерлік пен дағдыны қалыптастыру кезінде үйге берілген тапсырмаларды орындаған кезде сызбаларды сызу, кестелерді жасау, суреттемелерді орындау және меңгеруді бақылаған кезде маңызды болып келеді (мысалы, карта, кесте бойынша айтып беру, аспаптар құрылысын түсіндіру). Көрнекілік оқушылардың жас ерекшелігін ескере отырып пайдаланылады [6].

Ең жақсысы, көрсетілген оқыту жүйелерінің барлығы үйлесімді болуы керек. Бірақ қазір қоғамға ерекше, денсаулығы мықты, қызықты, ойшыл, тәуелсіз тұлғалар қажет. Осылайша, жаңа технологиялар оқыту процесін радикалды өзгертуі мүмкін. Оның мақсаты – оқушыларды оқу бағысында қуанышқа бөлеу, жүректерінде өздерін бағалай білетін сезім тудыру болып табылады.

Жаңартылған білім беру бағдарламасының педагогикалық ой тұжырымдарынан оқушыларға еркін білім беру, оқушының жеке, тұлғалық күшін дамыту, оның шығармашылық мүмкіндігін дамыту басты рөл атқарып отыр. Олай болса қазіргі ұстаздар қауымының алдыңғы үлкен мақсаты: өмірдің барлық саласындағы белсенді, шығармашылық іс-әрекетіне қабілетті еркін және жан-жақты жетілген тұлға тәрбиелеу. Жаңартылған білім беру бағдарламасын ұйымдастыру тек қана білім берумен шектелмейді, оқушының жан-жақты дамуына, ақыл-ойын ойлау тәсілдеріне үйрету, дағдыландыруға мүмкіндік береді. Оқытудың жаңа технологияларының барлығы оқушылардың өз бетінше білім алу дағдыларын қалыптастыруға бағытталған. Оқушылардың білім, білік дағдыларын жетілдіру үшін оқудың жаңа технологиясы бойынша, дифференциалды және дербес деңгейлік принциптерінің талаптарына сәйкес сабақты әртүрлі әдіс тәсілдерімен өткізу.

Қазіргі кезде оқушының алған білімі мен іс-әрекет түрлерін іс жүзінде пайдалана алатындай дәрежеге жеткізудің маңызы зор.

Интербелсенді оқыту біріншіден білім игеру процесіне қатысушылардың тиімді қарым-қатынасына негізделеді. Атап айтқанда, «интербелсенді» дегеніміз біреумен қоян-қолтық қарым-қатынаста болу, онымен бірлесе әрекет жасау, диалог құру [7].

Жаңа тақырыпты түсіндіру кезінде болжау кестесі, ойлан, жұптас, ортаға сал, білемін, білгім келеді, т.с.с. Осы әдіс-тәсілдерді қолдану оқушының өзіндік еңбек ету кезеңіне айналады. Нәтижесінде сабақты бекіту кезеңінде оқушы алған білімін пайдалана отырып шешім қабылдайды, қорытынды жасайды. Сонымен қатар интербелсенді әдістердің келесіндей тиімді жақтары бар [8]:

- терең ойлануға;
- ақпаратты өздігінен түсініп, оны таразылап, екшеп, оның ішінен керектісін тандап алуға;
- ақпаратты жан-жақты талдауға;
- өздігімен жаңа түсінік пен білім құрастыруға;
- пікірталастарға қатысып, өз ойы мен пікірін дәлелдеуге;
- басқа да балама пікірлерді ескеруге;
- шешім қабылдауға және қиын мәселелерді шешуге;
- жауапкершілікке (өз біліміне, өміріне);
- бағалармен тиімді қарым-қатынас құруға мүмкіндік береді.

Қорытындылай келгенде, интербелсенді оқыту диалогтық қатынасқа негізделеді, ал диалог өз кезегінде өзара түсіністікке, бірлескен әрекеттерге, таным процесінде туындаған мәселелер мен проблемаларды бірлесе шешуге алып келеді. Интербелсенді үйренуде білім алушылар білім, білік, дағды, құзырлық, машықтарға үйренеді.

Әдебиеттер тізімі

1. ҚР Президентінің «Нұрлы жол – болашаққа бастар жол» Қазақстан халқына Жолдауы. Астана, 11 қараша 2014 жыл. <http://www.inform.kz/kaz/article/2715695>.
2. Назарбаев Н.Ә. Болашаққа бағдар: рухани жаңғырту // Егемен Қазақстан. – 2017. – № 70 (29-051).
3. Гакаев Р. А., Иразова М. А. Образовательные технологии на уроках географии в условиях современной школы // Образование и воспитание. – 2015. – № 3. – С. 4-7.
4. Душина И.В., Летягин А.А., Беловолова Е.А. Практическая составляющая обучения географии – основа формирования компетенций школьников // География в школе. – 2009. – № 1.

5. Душина И.В., Пятунин В.Б., Летягин А.А. и др. Методика обучения географии в общеобразовательных учреждениях: Учебное пособие для студентов вузов / под ред. И.В. Душиной. – М.: Дрофа, 2007.
6. Панчешникова Л.М., Душина И.В., Дронов В.П. и др. Методика обучения географии в школе: Учеб. пособие для студентов геогр. спец. высш. пед. учеб. заведений и учителей географии. Под ред. Л.М. Панчешниковой. – М.: Просвещение; Учебная литература, 2007. – 325 с.
7. Понурова Г.А. Проблемный подход в обучении географии в средней школе. – М.: Просвещение, 2005. – 378 с.
8. Жақсылықова Г.И., Қаженова А.М., Исмагилова Н.З. Интербелсенді әдіс-тәсілдер. Әдістемелік құрал. – Өскемен: Өрлеу, 2014. – 255 б.

Қабылданды 3.11.2020

МРНТИ 52.45.01

Н. Сексенова¹, Ж.Қ. Исабай², А.М. Достоева², Р.А. Арабаев³

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

²Карагандинский технический университет, г. Караганда

³АО «ЖГОК», г. Каражал

ИССЛЕДОВАНИЕ НА ОБОГАТИМОСТЬ ПРОМПРОДУКТА СВИНЦОВОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ АО «ЖГОК»

В статье приведены результаты по исследованию возможности обогащения промпродукта свинцовой обогатительной фабрики, который представлен в виде хвостов, полученных от гравитационной переработки свинцово-цинково-баритовых руд месторождения Жайрем. В результате модернизации технологической схемы переработки данного промпродукта удалось повысить качество свинцового концентрата на 10,04 %, цинкового – на 12,65 %. Прирост извлечения свинца в свинцовый концентрат составил 11,27 %, в цинковый концентрат – 2,21 %.

Мақалада Жайрем кен орнының қорғасын-мырыш-барит кендерін гравитациялық өңдеу нәтижесінде алынған аралық байыту өнім түрінде ұсынылған қорғасын байыту фабрикасының өнімін байыту мүмкіндігін зерттеу нәтижелері келтірілген. Осы аралық өнімді өңдеудің технологиялық сұлбасын жаңарту нәтижесінде қорғасын концентратының сапасын 10,04 %-ға, мырышты 12,65 %-ға арттыру мүмкін болды. Бөліп алудың артуы қорғасын концентратындағы қорғасынның 11,27 %, мырыш концентратындағы 2,21 % құрады.

The article presents the results of the study of the possibility of enrichment of the industrial product of the lead concentrator, which is presented in the form of tailings obtained from the gravitational processing of lead-zinc-barite ores of the Zhairem deposit. As a result of the modernization of the technological scheme for processing this middling product, it was possible to increase the quality of lead concentrate by 10,04 %, zinc by 12,65 %. The increase in the extraction was 11,27% of lead in lead concentrate, 2,21% in zinc concentrate.

Ключевые слова: техногенные продукты, промпродукт, свинцово-цинково-баритовая руда, флотация, труднообогатимые типы руд.

В условиях растущей потребности экономики в цветных металлах предусматривается значительный рост объемов перерабатываемых руд различного вещественного состава. Одним из основных направлений в этом плане является вовлечение в переработку техногенных месторождений полезных ископаемых, представленных продуктами переработки труднообогатимых типов руд, в частности смешанных и окисленных свинцово-цинковых руд.

В последние годы качество большинства перерабатываемых руд характеризуется увеличением доли окисленных и вторичных форм с более тонкой и неравномерной вкрапленностью полезных минералов. Кроме того, данные типы руд могут содержать большое количество шламов, что делает их еще более сложным сырьем для переработки в современных условиях развития технологий.

В связи с этим поиски решения проблем по разработке эффективных технологий переработки техногенных месторождений такого типа является весьма актуальным.

Одним из крупных месторождений со смешанным типом руд в Казахстане является Жайремское месторождение.

Объектом данного исследования является хвосты (далее Промпродукт), полученные от гравитационной переработки свинцово-цинково-баритовых руд месторождения Жайрем.

Данный рудный материал является промпродуктом гравитационной обогатительной фабрики, перерабатывающей свинцово-цинково-баритовые руды месторождения Жайрем, и представляет смесь легкой фракции отсадочных машин и хвостов концентраторов Knelson.

Руда месторождения Жайрем относится к труднообогатимым смешанным типам руд. Главными рудообразующими минералами являются глобулярный пирит, сфалерит и галенит. Нерудные минералы представлены, в первую очередь, кварцем, а также карбонатами и кремнистыми минералами.

По результатам химического анализа, содержание металлов в промпродукте варьируется: свинца – 0,8...1,0 %, цинка – 2...2,5 %, барита – 2,0...5,0 %. Содержание диоксида кремния – 68,71 %, удельный вес – 2,75 г/см³, насыпной вес – 1,54 г/см³.

Рациональный анализ пробы показал, что промпродукт на 38,17 % представлен окисленными минералами свинца (англезит и церуссит), в том числе на 9,35 % в труднофлотируемой и нефлотируемой формах (плюмбоэрозит, пироморфит, плюмбогуммит).

Так как данный тип руды является сложным, были детально изучены структурно-текстурные характеристики минералов и их нахождение в руде.

Как показывают результаты минералогического исследования под микроскопом подготовленных аншлифов, вмещающие оруденение породы представлены тонкослоистыми, неравномерно слоистыми, светло-серыми глинисто-кремнистыми, темно-серыми углисто-глинисто-кремнистыми, кремнистыми, неравномерно карбонатизированными и черными углистыми породами (алевролитами).

В переслаивающихся осадочных породах *макроскопически* отмечаются рудные прослои или интервалы неравномерно-слоистых ритмов пиритового, пирит-сфалеритового, редко пирит-сфалерит-галенитового состава, обнаруживающих под микроскопом, в свою очередь, многослойчатое строение (рис. 1).

Структура руд метакolloидная, тонко-мелкозернистая, участками среднезернистая. Текстура слоистая, тонкослоистая, полосчатая, микроплочатая.

Оруденелые участки представлены ритмично или неравномерно повторяющейся послойной вкрапленностью или массивными слоями пиритового, пирит-сфалеритового, сфалеритового, реже галенит-сфалерит-пиритового и безрудного породного состава, образующих многослойчатые рудные ритмы (рис. 1).

Таким образом, результаты минералогических исследований подтверждают сложную текстурно-структурную характеристику руды.

Технологическая схема (рис. 2 и 3) переработки свинцово-цинковых руд месторождения Жайрем включает:

- измельчение до 90 % класса – 0,074 мм с введением в операцию сернистого натрия и цинкового купороса;

- свинцовый цикл, включающий основную свинцовую флотацию с введением смеси цианида и цинкового купороса, а также смеси собирателей (бутиловый ксантогенат и карбамид) и вспенивателей (ОПСБ и флотанол С-7), контрольную свинцовую флотацию и три перечистных операции флотации;

- цинковый цикл, включающий обработку пульпы острым паром, с дальнейшим направлением на основную и контрольную операции цинк-пиритной флотации. Хвосты цинк-пиритной флотации являются отвальными, а концентраты направляются на доизмельчение (80 % класса – 20 мкм) и последующую тройную операцию перечистки цинкового концентрата с использованием в качестве реагентов медного купороса, жидкого стекла, бутилового ксантогената и натриево-бутилового аэрофлота.

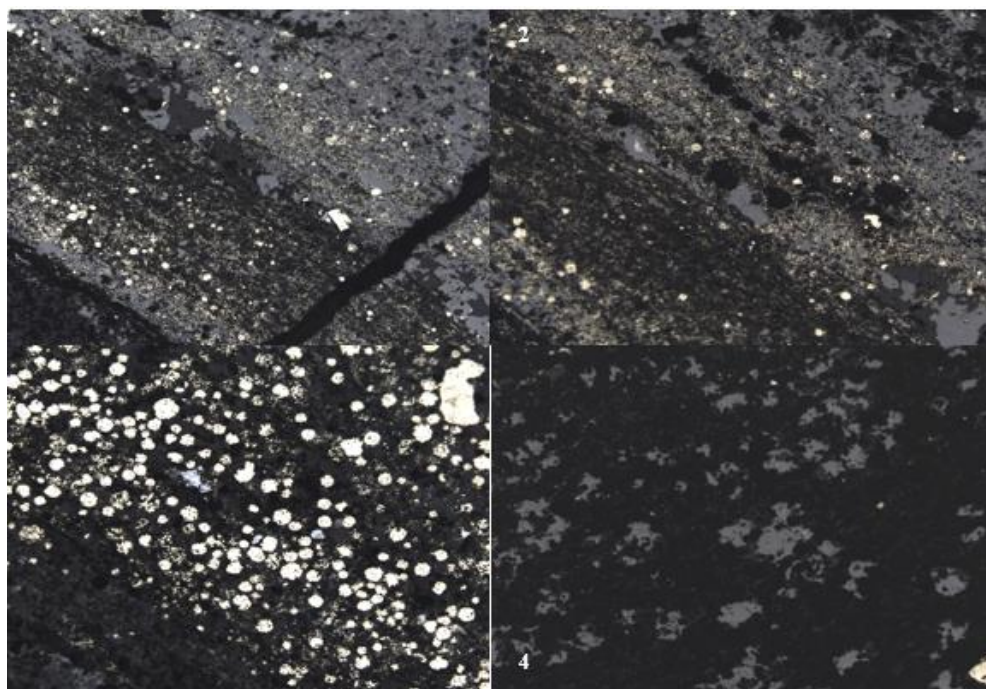


Рисунок 1 – Рудные прослои неравномерно-слоистых ритмитов

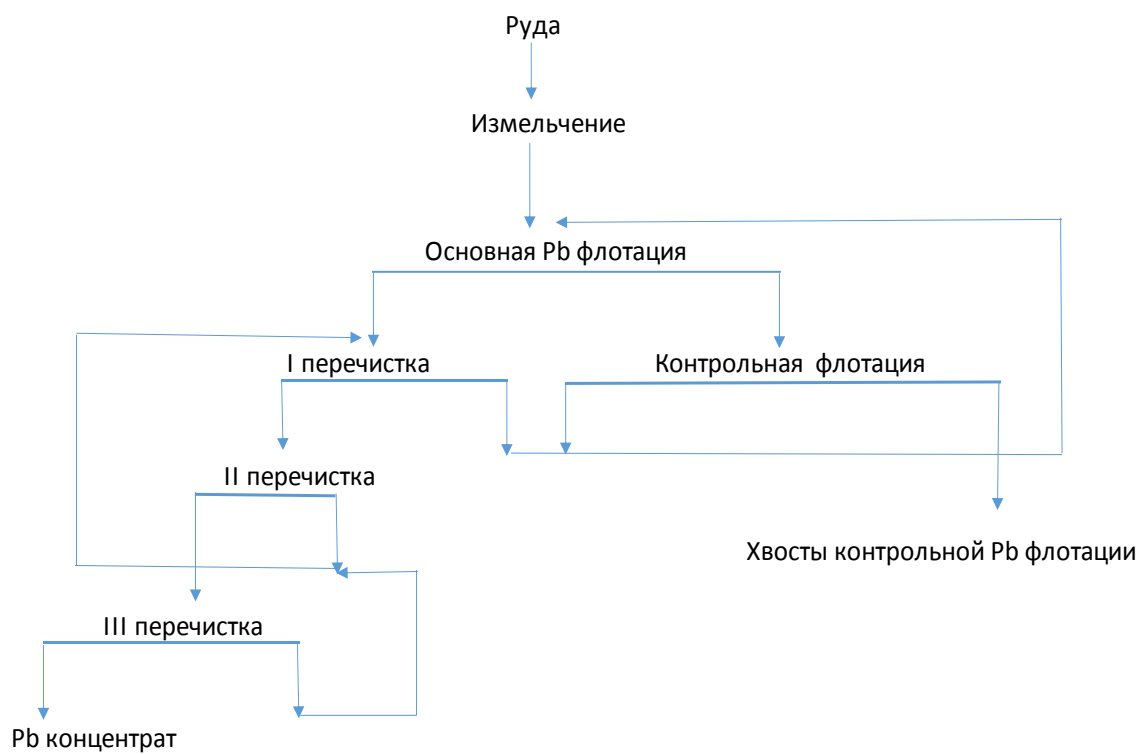


Рисунок 2 – Схема обогащения (свинцовый цикл)

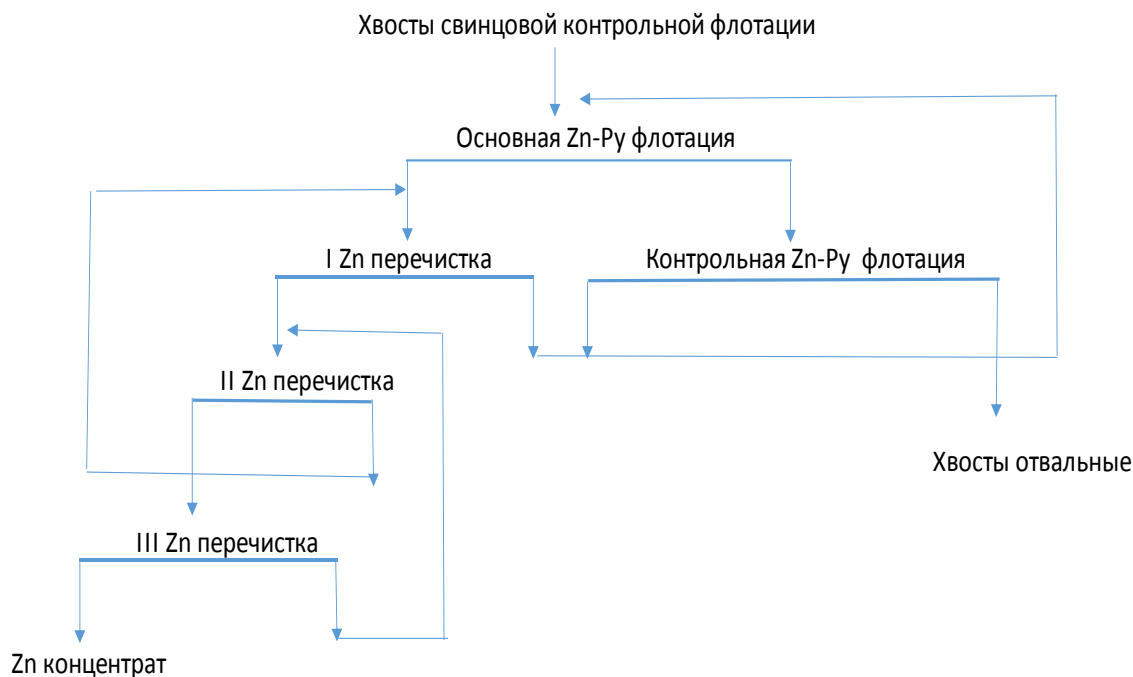


Рисунок 3 – Схема обогащения (цинковый цикл)

В результате опыта по стандартной схеме получены:

- свинцовый концентрат с содержанием свинца – 19,7 %, цинка – 6,50 %, с извлечением свинца – 37 %, цинка – 8 %. Выход концентрата составил – 2,81 %.

- цинковый концентрат с содержанием цинка – 31,58 %, свинца – 0,94 %, с извлечением цинка – 63,43 %, свинца – 3,34 %; выход концентрата составил – 4,62 %.

Ввиду низких показателей по содержанию металлов в концентратах были проведены изменения в технологических режимах для повышения показателей по качеству концентратов и извлечению из них металлов.

Рекомендуемая технологическая схема включает:

- измельчение до 90 % класса – 0,074 мм с введением сернистого натрия в среде жидкого стекла. Это обусловлено необходимостью ориентирования реагента (Na_2S) только на сульфидизацию окисленных минералов свинца, поскольку введение в мельницу одновременно и сернистого натрия и цинкового купороса смещает работу сернистого натрия как сульфидизатора в сторону создания депрессионной среды для сфалерита. Жидкое стекло в данном случае выполняет одновременно несколько функций: создание благоприятной среды для ускорения (и более глубокого проникновения) процесса сульфидизации окисленных минералов, депрессию кремнистых минералов пустой породы, снижение общего показателя жесткости жидкой фазы пульпы;

- аэрирование (3 минуты) разгрузки мельницы с предварительным введением дополнительной порции сернистого натрия. Это также обусловлено необходимостью более глубокого проникновения сульфидизатора во всем объеме вновь раскрытых зерен окисленных минералов в пульпе;

- свинцовый цикл, включающий основную, контрольную и 3 свинцовые перерешетки. В данных операциях повышен расход собирателя и вспенивателя. Это обусловлено химическим составом воды, используемой в замкнутых экспериментах, а именно реакцией солей, входящих в состав воды, с частью реагентов.

Также основным изменением служит отказ от введения регуляторов среды, таких как известь гашеная и сода техническая, так как они оказывают негативное влияние на извлечение свинца, поскольку в данном случае являются депрессорами галенита.

Повышение расхода цианистого натрия обусловлено нахождением в пульпе вторичных минералов меди, которые вступая в реакцию с цианидом образуют нерастворимые соли.

– цинковый цикл флотации, включающий основную, контрольную цинк-пиритную и 3 цинковые перерешетки. Концентрат основной флотации подвергался ультратонкому измельчению до 80 % класса – 20 мкм и тепловому кондиционированию при $t = 40^{\circ}\text{C}$.

Измельченный до – 20 мкм промпродукт первой цинковой перерешетки был направлен не в основную цинк-пиритную флотацию, а в контрольную (увеличено время на 2 минуты). Это обусловлено тем, что данный переизмельченный продукт увеличивает неоднородность материала, следовательно, с повышением плотности пульпы может негативно сказаться на процессе флотации в флотомашинках основной цинк-пиритной флотации в целом. В контрольной флотации влияние данного фактора существенно снижается за счет менее плотной пульпы.

Также одним из изменений является ввод некоторого количества реагента собирателя в питание мельницы доизмельчения, а также подача жидкого стекла не в флотомашину, а непосредственно в мельницу доизмельчения. Ввиду очень малых размеров твердых частиц в пульпе и их раскрытием необходимо введение в процесс некоторого количества «свежего» реагента.

В результате модернизации схемы обогащения получены:

– свинцовый концентрат с содержанием свинца – 29,74 %, цинка – 4,49 %, с извлечением свинца – 48,27 %, цинка – 4,11 %; выход концентрата составил – 2,11 %.

– цинковый концентрат с содержанием цинка – 44,28 %, свинца – 1,84 %, с извлечением цинка – 65,64 %, свинца – 4,2 %; выход концентрата составил – 3,41 %.

В результате модернизации технологической схемы переработки промпродукта, полученного от переработки свинцово-цинково-баритовых руд месторождения Жайрем, удалось повысить качество свинцового концентрата на 10,04 %, цинкового – на 12,65 %. Прирост извлечения составил 11,27 % свинца в свинцовый концентрат, 2,21 % – в цинковый концентрат.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 20.53.01

Р.К. Четтыкбаев, Н.Ф. Денисова

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПАВОДКОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА РЕКАХ ВКО

Данная статья является частью исследования, которое посвящено созданию информационно-аналитической системы прогнозирования затопления территорий при чрезвычайных ситуациях в Восточно-Казахстанской области. Рассмотрены основные подходы к проектированию системы и представлены первые результаты исследования.

Бұл мақала Шығыс Қазақстан облысындағы төтенше жағдайлар кезінде аумақтарды су басуды болжаудың ақпараттық-талдау жүйесін құруға арналған зерттеудің бір бөлігі болып табылады. Жүйені жобалаудың негізгі тәсілдері және зерттеудің алғашқы нәтижелері ұсынылды.

This article is part of a study devoted to the creation of an information and analytical system for predicting flooding of territories in emergency situations in the East Kazakhstan region. The main approaches to the design of the system are considered and the first results of the study are presented.

Ключевые слова: информационно-аналитическая система, уравнение Сен-Венана, моделирование, затопление, базы данных, геоинформационные системы, гидрологическая информация, цифровая карта.

Каждый год на реках Восточно-Казахстанской области проводится мониторинг уровня воды в речных системах, что вызвано с высокой степенью возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с паводками. В зоне затопления находятся большое количество поселков, жилых домов, и паводковая вода грозит гидроэлектростанциям, которые расположены в регионе.

Целью исследования является повышение эффективности контроля за паводковой ситуацией путем разработки аналитической системы, включающей методы обеспечения мониторинга и прогнозирования затопления территорий при ЧС в Восточно-Казахстанской области.

В соответствии с поставленной целью сформулированы следующие задачи:

1. Теоретическое обоснование и развитие основных принципов обеспечения безопасности объектов в периоды паводковой активности.
2. Сбор необходимых данных для использования в информационно-аналитической системе.
3. Обработка данных и построение модели прогнозирования для предотвращения чрезвычайных происшествий.

Под наводнением понимается затопление водой прилегающей к реке, озеру или водохранилищу местности, которое причиняет материальный ущерб, наносит урон здоровью населения или приводит к гибели людей.

В режиме рек обычно выделяют половодье, паводок и межень. В данной статье подробно рассматривается понятие паводок. Паводок – это интенсивный, сравнительно кратковременный подъем уровня воды, вызванный дождями и ливнями, иногда таянием снега при зимних оттепелях [4].

Согласно историческим данным мониторинга уровня воды в реках, весной 2018 года в ВКО было зафиксировано подтопление обширных территорий, в том числе территорий сел и городов, что привело к серьезным последствиям.

Ежесуточный мониторинг погодных условий того периода представлен на графике (рис. 1-2).

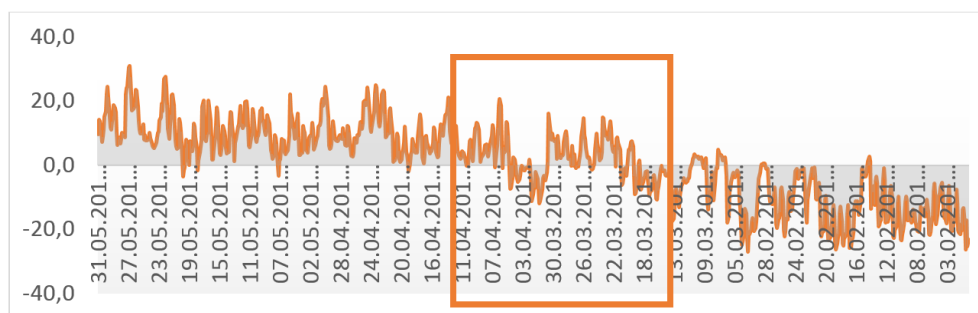


Рисунок 1 – Мониторинг температуры воздуха, весна 2018 г.

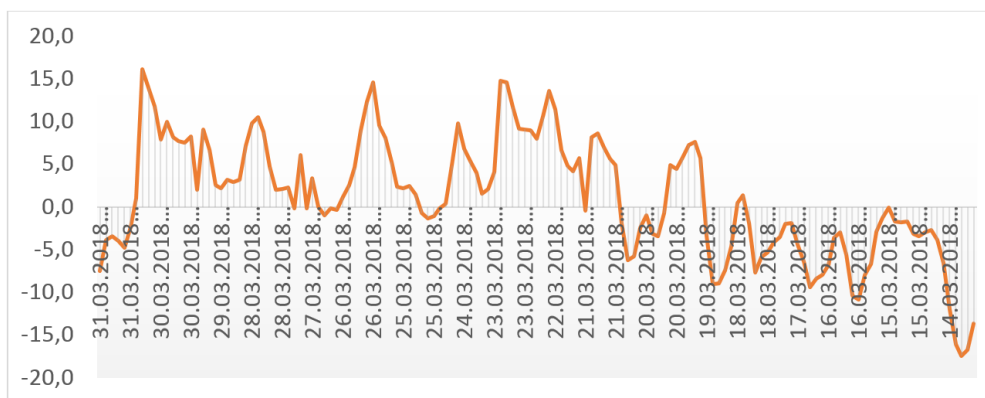


Рисунок 2 – Детализированный график погодных условий, март 2018 г.

Как видно из графика, при резком повышении температуры воздуха происходило увеличение интенсивности таяния снежного покрова, что напрямую влияло на уровень воды в реках ВКО. Данный факт, неоспоримо, доказывает, что погодные условия влияют на общий уровень воды в реках области.

На основании имеющихся данных о погодных условиях была сформулирована база данных для аналитической системы по мониторингу паводковой ситуации на реках ВКО. Таблицы базы данных хранят в себе следующую основную информацию: температура воздуха (Т), относительная влажность (U), количество выпавших осадков (RRR), период времени, за который накоплено указанное количество осадков (tR), состояние поверхности почвы (E), минимальная температура почвы за ночь (Tg), состояние поверхности почвы (E'), высота снежного покрова (sss), а также другие дополнительные данные (рис. 3).

T	Po	P	Pa	U	DD	N	VW	W1	Tn	Tx	Nh	H	VV	Td	RRR	tR	E	Tg	E'	sss
-15.3	745.1	773.9		85	Штиль, безветрие	100%	Снег непрерывный слабый в срок наблюдения.	Снег или дождь со снегом.		-7.6	70 – 80%	1500-2000		-17.3	0.6	12				
-13.8	745.3	774.0		83	Ветер, дующий с запада	100%	Снег непрерывный слабый в срок наблюдения.	Снег или дождь со снегом.			20–30%	1500-2000	4.0	-16.1						
-10.4	745.1	773.4	0.1	78	Ветер, дующий с юго-востока	90 или более, но не 100%	Снег непрерывный слабый в срок наблюдения.	Снег или дождь со снегом.	-12.7		50%	1500-2000	10.0	-13.5	2	12				
-12.1	745.0	773.4		85	Ветер, дующий с юго-востока	100%	Снег непрерывный слабый в срок наблюдения.	Снег или дождь со снегом.			50%	1500-2000	4.0	-14.1	2	12			Неровный слой сухого рассыпчатого	11
-12.0	744.7	773.1		85	Ветер, дующий с юго-востока	100%	Снег непрерывный слабый в срок наблюдения.	Снег или дождь со снегом.			100%	600-1000		-14.0						
-12.2	744.9	773.3		83	Ветер, дующий с юго-востока	100%	Снег непрерывный слабый в срок наблюдения.	Снег или дождь со снегом.			100%	600-1000		-14.5						
-12.5	745.3	773.8	-0.6	80	Ветер, дующий с юго-востока	100%	Снег непрерывный слабый в срок наблюдения.	Снег или дождь со снегом.	-10.9		100%	600-1000		-15.2	1	12				
-12.4	745.9	774.4		82	Ветер, дующий с востоко-юго-запада	100%	Снег непрерывный слабый в срок наблюдения.	Снег или дождь со снегом.	-10.9		100%	600-1000		-14.8	1	12				
-11.8	746.2	774.6		78	Ветер, дующий с юго-востока	100%	Снег непрерывный слабый в срок наблюдения.	Ливень (ливни).			50%	1500-2000	4.0	-14.9						
-11.1	745.9	774.3		75	Ветер, дующий с юго-востока	100%	Снег с перерывами слабый в срок наблюдения.	Ливень (ливни).			50%	1500-2000	10.0	-14.7						
-12.7	746.3	774.9	0.3	82	Ветер, дующий с юго-востока	100%	Ливневый снег умеренный или сильный в срок наблюдения.	Ливень (ливни).	-15.3		100%	1000-1500	2.0	-15.1	2	12				

Рисунок 3 – Данные мониторинга погодных условий

Для реализации поставленной цели была сформирована структура информационно-аналитической системы мониторинга паводковой ситуации на реках ВКО, представленная на рис. 4.

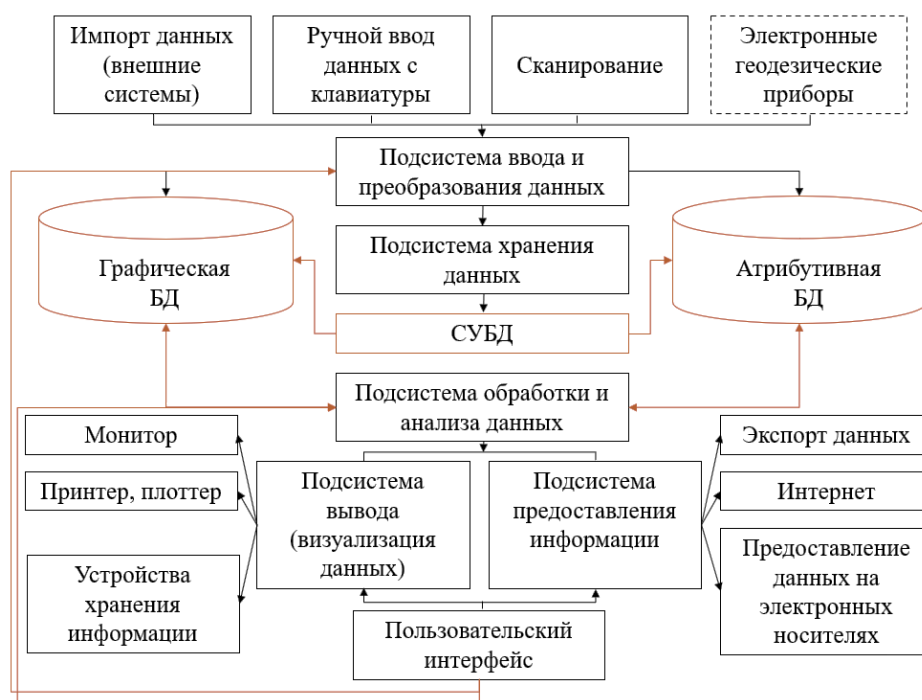


Рисунок 4 – Структура информационно-аналитической системы мониторинга паводковой ситуации на реках ВКО

Важным фактором системы является ее постоянное пополнение данными, которые необходимы для прогнозирования процесса затопления территорий в период паводка [1].

Следующей задачей исследования является выбор инструмента построения компьютерной цифровой модели.

В современном мире существует множество программных комплексов, основной задачей которых является моделирование речной гидравлики и моделирование зон затопления. Для целей гидравлических расчетов составлены программные комплексы, которые получили достаточно широкое распространение как за рубежом, так и в странах СНГ. Самыми распространенными программами являются MIKE 11 и HEC-RAS (американского корпуса военных инженеров, US Army Corps of Engineers) [3].

Программный комплекс HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) реализует одномерный подход к гидравлическому моделированию речных потоков, работает в среде Windows и включает в себя графический интерфейс, компоненты гидравлического анализа, хранения и управления данными, графические и отчетные средства [6].

MIKE – это профессиональный пакет программ для моделирования потоков (включая прорыв плотин), качества воды и транспорта наносов. Основной особенностью MIKE является модульная структура, имеющая следующие основные (базовые) модули: гидродинамический (HD), который реализует неявную разностную схему расчета неустановившегося движения воды в водотоках, основанную на уравнениях Сен-Венана; адвекции-дисперсии и транспорта связанных наносов (AD), основанный на одномерном уравнении сохранения массы растворенного и взвешенного вещества (соли, связанные наносы и т.п.) [7].

Для апробации программных комплексов и построения компьютерной цифровой модели речных систем ВКО был выбран небольшой приток реки Иртыш (Ертіс).

Были выполнены соответствующие замеры и построены цифровые модели профиля участка реки (рис. 5) [5].

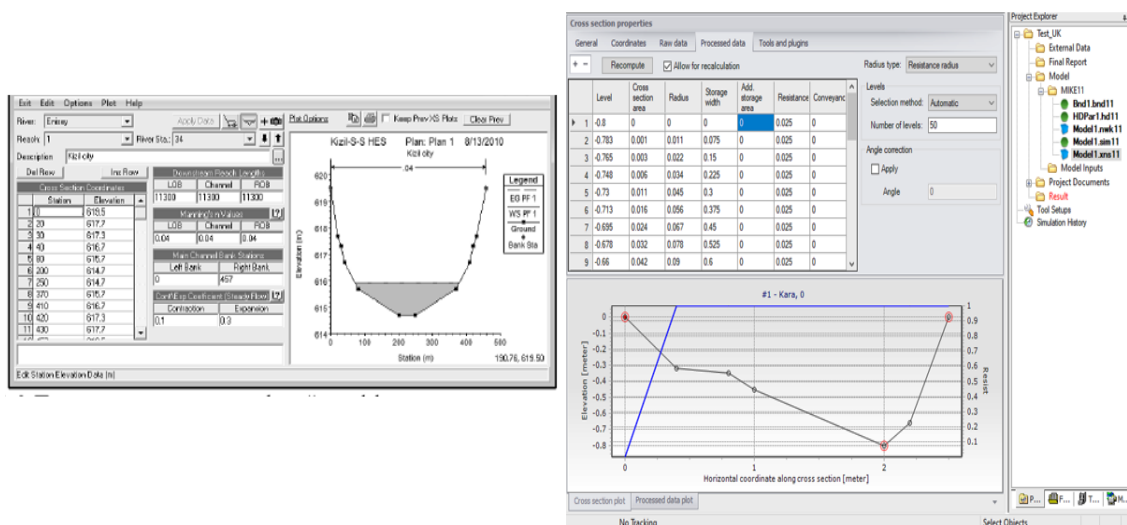


Рисунок 5 – Профиль участка реки в HEC-RAS и MIKE HYDRO

На основе данных моделей были протестированы предельные показатели, при которых затопление территорий при паводке является критичным и нанесет серьезный ущерб селам и городам, находящимся близ речных систем области. На рис. 6 розовым цветом выделена область, которая является потенциально опасной.

На основе исходных данных спроектирована тестовая версия аналитической системы прогнозирования зон затопления. Работа данного сервиса приведена ниже (рис. 7).

2. Созданы цифровые карты ВКО (карта территории ВКО, карта растительности, карта гидро-системы, карта крупных озер, карта населенных пунктов, карта зданий городов ВКО, карта особо охраняемых природных территорий ВКО).

3. Ведется уточнение математической модели прогнозирования паводков.

4. Ведется работа по созданию цифровых моделей речных систем ВКО.

Список литературы

1. Дьяконова Т. А. Численная гидрологическая модель весеннего затопления для территории Волго-Ахтубинской поймы: анализ эффективности двухступенчатого гидрографа // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2017. – Т. 5. – № 12. – С. 54-59.
2. Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С., Заварзин А.В., Лурье И.К., Рыльский И.А., Трофимов А.М., Флейс М.Э., Яровых В.Б. Геоинформатика: В 2 кн. – М.: Академия, 2010.
3. Никифоров Д.А. Калибровка цифровых компьютерных моделей для гидравлических расчетов рек и водохранилищ // Сб. науч. тр. Всероссийской научной конференции «Вода и водные ресурсы: системообразующие функции в природе и экономике», г. Цимлянск, 23-28 июня. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. – С. 454-461.
4. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.В. Основы моделирования чрезвычайных ситуаций: учеб. пособие. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – 166 с.
5. Шевердяев И. В., Бердников С. В., Клещенко А. В. Применение программного комплекса HEC-RAS для моделирования гидрологического режима дельты Дона // *Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем*. – 2017. – Т. 1, №2. – С. 113-122.
6. HEC-RAS documentation and data [<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>, <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation.aspx>]: Hydrologic Engineering Center. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>, <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation.aspx>, свободный.
7. MIKE 11. A modeling system for rivers and channels. Reference manual. – <http://www.dhigroup.com/>.

Получено 3.11.2020



МРНТИ 73.01.77

А.Т. Ахмедиярова^{1,2}, Д.Р. Куандыкова², Д.Т. Касымова^{1,3}, Б.Е. Куандыков², Е.М. Мусабек²¹Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, г. Алматы²Университет «Туран», г. Алматы³Академия Кайнар, г. Алматы**ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ**

В данной статье расширен фрейм CTNDP, включив в него важную функцию для конкретных приложений: взаимодействие между различными ссылками. Эта расширенная модель сформулирована как двухуровневая математическая модель. Существенные особенности предложенного алгоритма включают комплексное кодирование на основе диплоидов с особенностями мейоза и новый оператор мутации, который выполняет глобальный поиск во время первоначального поиска и локальный поиск в последующих поколениях. Данный подход заслуживает дальнейшего изучения, касающегося анализа других существующих операторов выбора, кроссовера и мутации.

Мақалада маңызды функцияны қамтитын нақты қосымша үшін әртүрлі сілтемелер арасындағы өзара әрекеттесу CTNDP фреймі кеңейтілген берілген. Бұл кеңейтілген модель екі деңгейлі математикалық модель ретінде тұжырымдалған. Ұсынылған алгоритмнің маңызды белгілері - мейоздың ерекшеліктері бар диплоидтарға негізделген күрделі кодтау және кейінгі іздеудегі және жергілікті іздеуді кезінде ғаламдық іздеуді жүзеге асыратын жаңа мутация операторы. Бұл тәсіл таңдау, кроссовер және мутацияның қолданыстағы басқа операторларын талдауға қатысты қосымша зерттеуге лайық.

This article extends the CTNDP frame to include an important application-specific feature: interaction between different links. This extended model is formulated as a two-level mathematical model. The essential features of the proposed algorithm include complex coding based on diploids with features of meiosis and a new mutation operator that performs global search during the initial search and local search in subsequent generations. This approach deserves further study regarding the analysis of other existing operators of choice, crossover and mutation.

Ключевые слова: генетический алгоритм, транспортная сеть, мутация.

Введение. Задача проектирования транспортной сети (TNDP) включает в себя оптимальные решения при определении набора проектных параметров для улучшения существующей транспортной сети в ответ на растущий уровень потребности в трафике. Общее повышение уровня потока приводит к заторам на дорогах, задержкам, увеличению расходов на топливо и техническое обслуживание, загрязнению воздуха и авариям.

Усовершенствования транспортной сети, такие как расширение пропускной способности существующих перегруженных каналов, добавление или удаление каналов, настройка управления сигналом трафика, осуществляются в соответствии с оптимумом системы при рассмотрении поведения пользователей сети при выборе маршрута и выбора маршрута.

Оптимум системы обычно представляет собой минимизацию общего времени в пути и затрат на строительство. Решения пользователя сети соответствуют набору нелинейных отношений, которые сформулированы как самостоятельная задача математического программирования. Фактически, улучшение транспортной сети включает в себя взаимодействие двух сторон с собственными целями: планировщик сети, представленный полномочным лицом транспортной системы, и пользователи сети, которые пользуются предоставленными услугами. Орган управления движением пытается оптимизировать некоторые общие цели в сети, в то время как пользователи сети стараются минимизировать время/затраты в пути или предполагаемое время/затраты в пути.

Математическая модель программирования, подходящая для решения этого типа проблемы планирования в соответствии с экономическими критериями сети, сохраняя оба интереса в оптимальном дизайне, является моделью двухуровневого программирования.

Проблема проектирования транспортной сети – задача двухуровневой оптимизации. Двухуровневая оптимизация является полезным подходом для решения проблем с конфликтующими целями в рамках иерархической структуры. Он возник из областей теории игр и принятия решений, а также описывает ряд проблем в планировании и моделировании перевозок (проектирование дорожной сети, локализация пространства, управление движением, оптимальное определение затворов), инженерное проектирование (оптимальная структура и форма), экономика (планирование, цены без зависти и т.д.). Подробный список литературы и различные предлагаемые методы решения задач двухуровневого программирования приведены в [3].

Его последовательная структура включает в себя две задачи оптимизации на разных уровнях, где выполнимый набор первой проблемы, называемой проблемой верхнего уровня (лидера), определяется другой задачей оптимизации, называемой задачей нижнего уровня (последователя) (рис. 1). Расширяя эту концепцию, можно определять многоуровневые программы с любым количеством уровней.

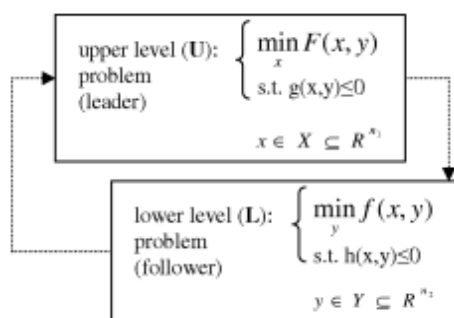


Рисунок 1 – Двухуровневая модель

Здесь: x и y соответственно векторы переменных решения верхнего уровня и нижнего уровня; $F(x, y)$ и $f(x, y)$ – целевые функции лидера и последователя; $g(x, y)$ и $h(x, y)$ – ограничения лидера и последователя; X и Y представляют верхнюю и нижнюю границы элементов векторов x и y :

$$X = \left\{ (x_1, \dots, x_{n_1})^T \in R^{n_1} \mid l_{s_j} \leq x_j \leq l_{d_j}, j = 1, \dots, n_1 \right\}, \quad (1)$$

$$Y = \left\{ (y_1, \dots, y_{n_2})^T \in R^{n_2} \mid \bar{l}_{s_i} \leq y_i \leq \bar{l}_{d_i}, i = 1, \dots, n_2 \right\}. \quad (2)$$

Для некоторых частных случаев двухуровневых задач пространства поиска X и Y могут вводить дополнительные сложные требования. На рис. 2 и лидер, и последователь пытаются оптимизировать свою собственную целевую функцию, не учитывая цель другой. Лидер обладает полной информацией о проблеме оптимизации подписчика, и его выбор влияет на нижний уровень.

Сначала лидер принимает решение, выбирая вектор $x \in X$, который оптимизирует его целевую функцию. Затем для заданного вектора x последователь реагирует, выбирая вектор $y \in Y$, который оптимизирует его собственную целевую функцию. Согласно этому, лидер интегрирует в процессе оптимизации обратную связь от последователя.

TNDP хорошо изучен, и в литературе можно найти много альтернативных подходов. Большинство из этих подходов формулируют TNDP как задачу оптимизации на двух уровнях, где верхний уровень – это проблема сетевого планировщика: минимизация общей стоимости системы, а нижний уровень – это проблема пользовательского равновесия (UE): детерминированное UE или стохастическое УП (рис. 2)

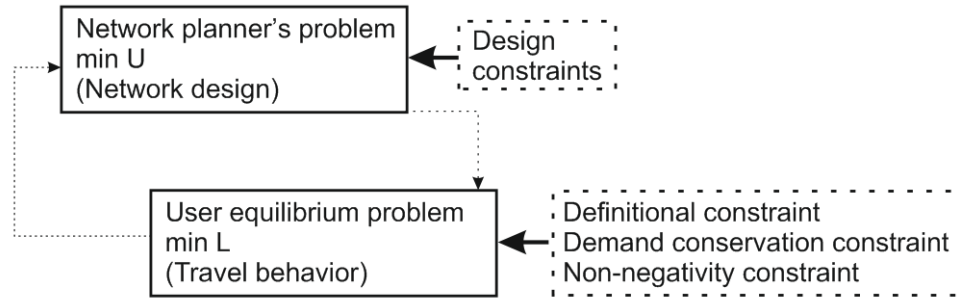


Рисунок 2 – ТНДП – двухуровневая оптимизация

Представительные работы включают: методы на основе градиента и метаэвристические методы (имитация отжига – SA, генетические алгоритмы – А и оптимизация роя частиц – PSO) для получения приемлемого решения для больших проблем.

Формулировка модели. Исходя из базовой модели проектирования, которая часто встречается в сетевой литературе, мы разрабатываем дополнительный подход, чтобы сделать CTNDP более реалистичным. Поскольку это стандарт, подключенная транспортная сеть, представленная графом $G=(N, A)$, определяется множеством узлов $n \in N$ и множеством дуг $a \in A, |A| = k$.

O обозначает множество Происхождения отключения, $o \in O$;

D – множество пунктов назначения поездки, $d \in D$;

OD – набор пар отправитель-получатель в сети, $(o, d) \in OD$;

P – полный набор доступных путей в сети;

P^{od} – множество путей в сети между O - D парой (o, d) , $\forall (o, d) \in OD$;

H – вектор потоков пути, $h = [h_p^{od}] \forall p \in P^{od}, \forall (o, d) \in OD$;

Q – вектор требований отправления-назначения, $Q = [q_{od}] \forall (o, d) \in OD$, где

$$q_{od} = \sum_{p \in P^{od}} h_p^{od}; \quad (3)$$

Δ – обозначает матрицу инцидентности пути связи, $\Delta = [\delta_{ap}^{od}] \forall a \in A, \forall p \in P^{od}, \forall (o, d) \in OD$, где

$$\delta_{ap}^{od} = \begin{cases} 1, & \text{если } a \in A \text{ находится на пути } p \in P \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

С каждой ссылкой $a \in A$ связаны следующие понятия:

f – вектор потоков ссылок, $f = [f_a] \forall a \in A$;

f_a^s – поток по ссылке a , где

$$f_a = \sum_{(o, d) \in OD} \sum_{p \in P^{od}} \delta_{ap}^{od} h_p^{od}, \forall a \in A; \quad (4)$$

β – вектор увеличения пропускной способности линии связи, $\beta = [\beta_a] \forall a \in A$, где β_a обозначает увеличение пропускной способности линии связи $a \in A$, w – вектор существующей пропускной способности линии связи, $w = [w_a] \forall a \in A$, где w_a обозначает текущую емкость ссылки $a \in A$.

Таким образом, пропускная способность после расширения $\beta_a + w_a, t(f, \beta)$ обозначает вектор стоимости перемещения звена, $t(f, \beta) = [t_a(f, \beta)] \forall a \in A$, где $t_a(f, \beta)$ – стоимость поездки по $a \in A$.

Стоимость проезда по ссылке увеличивается с увеличением потока из-за пробок на дорогах. Чтобы учесть перегруженность, стоимость проезда по линии связи описывается как функция потока f_a связи и увеличения пропускной способности β_a .

Распространенным выбором транспортных расходов является функция Бюро автомобильных дорог общего пользования (BPR) [12, 13]:

$$t_a(f_a, \beta_a) = t_a^0 \left[1 + b_a (f_a / (\beta_a + w_a))^4 \right],$$

где: $t^0 \in \mathbb{R}^A$ – вектор транспортных расходов в свободном потоке; t_a^0 – стоимость проезда в свободном потоке по ссылке a ; b_a – параметр перегрузки для канала a , калибруется на основе ограничения скорости и пропускной способности канала.

Большинство аналитических моделей обычно предполагают, что время прохождения по данной ссылке зависит только от потока через эту линию (симметричный случай). Однако в ряде случаев взаимодействие между ссылками может происходить между разными ссылками.

Начиная с [4] и [5] в этом исследовании мы разрабатываем функцию транспортных расходов путем изменения функции транспортных расходов BPR:

$$t_a(f_a, \beta_a) = t_a^0 \left\{ 1 + b_a \left[\left(f_a + \sum_{b \in A} \varepsilon_{a,b} f_b \right) / (\beta_a + w_a) \right]^4 \right\}, \forall a \in A, \quad (5)$$

где $0 \leq \varepsilon_{a,b} \leq 1$ обозначает «взвешенный фактор влияния» потока на звене $b \in A$ на стоимость перемещения звена a ; $\varepsilon_{a,b} = 0$, когда нет взаимодействия между линией a и линией b (стоимость ссылки a не зависит от потока на ссылке b); $\varepsilon_{a,b} = 1$, когда $a = b$.

В противном случае значения для $\varepsilon_{a,b}$ находятся в диапазоне от 0 до 1.

Чем больше влияние потока на звене b на стоимость проезда на звене a , тем ближе $\varepsilon_{a,b}$ к значению 1. Значения для $\varepsilon_{a,b}$ являются специфическими для данной сети и основаны на данных за один год.

Матрица $E = (\varepsilon_{a,b}) \in \mathbb{R}^A \times \mathbb{R}^A$, случайно сгенерированная в нашем примере, представляет собой взаимодействие между различными ссылками. Оно не является симметричным, поскольку стоимость ссылки может зависеть от потока в другой ссылке иначе, чем стоимость другой ссылки зависит от потока в этой ссылке. Такое обобщение позволяет более реалистично обрабатывать перекрестки, двусторонние связи, несколько видов транспорта, а также различные классы пользователей сети [11].

Можно заметить, что если $\varepsilon_{a,b} = 0$, то формулировка функции сведется к стандартной функции стоимости перемещения BPR для симметричного случая.

C обозначает вектор времени прохождения пути, $C = [c_p^{od}]$, $\forall p \in P^{od}, \forall (o, d) \in OD$, где предполагается, что время прохождения по конкретному пути является суммой времен прохождения соответствующего звена:

$$c_p^{od} = \sum_{a \in A} \delta_{ap}^{od} t_a(f_a, \beta_a), \quad (6)$$

где $g_a(\beta_a)$ обозначает функцию инвестиционных затрат по ссылке a . Это дает стоимость увеличения емкости на β_a . Функция инвестиционных затрат, принятая в этом исследовании:

$$g_a(\beta_a) = d_a \beta_a$$

где d_a представляет денежную стоимость приращений емкости на единицу расширения, и, как известно, $\forall a \in A$.

В некоторых тестовых задачах квадратичные функции инвестиционных затрат позволяют правильно моделировать улучшение сети. Для этого случая подходящим определением может быть

$$g_a(\beta_a) = d_a \beta_a.$$

$g_a(\beta_a) = d_a \beta_a$ обозначает определенный пользователем коэффициент, преобразующий инвестиционные затраты в транспортные расходы; в этом исследовании мы устанавливаем $\theta = 1$ – общий доступный бюджет для улучшения пропускной способности сети.

Предположения, использованные в этой работе для моделирования CTNDP, основаны на предположениях, сделанных в [7]:

1) спрос на каждую пару $O-D$ за некоторый интервал планирования фиксирован и известен априори; это дано в форме матрицы $O-D$;

2) функция перемещения звена $t_a(f_a, \beta_a) = t, a \in A$ строго возрастает и непрерывно дифференцируется по отношению к потоку звеньев $f_a, a \in A$ для любого увеличения фиксированной пропускной способности $\beta_a, a \in A$;

3) функция инвестиционных затрат $g_a(\beta_a), a \in A$ является непрерывной дифференцируемой функцией по β_a .

Традиционная цель проблемы непрерывного проектирования сети состоит в том, чтобы определить набор значений расширения β_a (переменные решения), который минимизирует общую стоимость системы (сумму общих затрат времени в пути и инвестиционных затрат на расширение пропускной способности канала):

$$\sum_{a \in A} [t_a(f_a(\beta), \beta_a) f_a(\beta) + \theta g_a(\beta_a)] \quad (7)$$

где первый член дает стоимость времени в пути, а второй – общую сумму инвестиций правительства (затраты на капитальное строительство, плату за обслуживание и т. д.)

Поток на каждом звене $a \in A, f_a$ является равновесной моделью потока пользователя и получается путем решения задачи нижнего уровня.

CTNDP в соответствии с DUE можно сформулировать в терминах двухуровневой модели программирования следующим образом:

– задача верхнего уровня (U):

$$\min_{\beta} U(f, \beta) = \sum_{a \in A} [t_a(f_a(\beta), \beta_a) f_a(\beta) + \theta g_a(\beta_a)] \quad (8)$$

при условии:

$$\beta_a^{\min} \leq \beta_a \leq \beta_a^{\max}, \forall a \in A, \quad (9)$$

$$\sum_{a \in A} g_a(\beta_a) \leq B; \quad (10)$$

– задача нижнего уровня (L):

$$\min_f L = \sum_{a \in A} \int_0^{f_a} t_a(z, \beta_a) dz \quad (11)$$

при условии:

$$f_a = \sum_{(o,d) \in OD} \sum_{p \in P^{od}} \delta_{ap}^{od} h_p^{od}, \forall a \in A, \quad (12)$$

$$q_{od} = \sum_{p \in P^{od}} h_p^{od} \forall (o,d) \in OD, \quad (13)$$

$$h_p^{od} \geq 0, \forall p \in P^{od}, \forall (o,d) \in OD, \quad (14)$$

$$q_{od} \geq 0, \forall (o,d) \in OD. \quad (15)$$

Решение вышеуказанной математической задачи приводит к равновесной схеме движения. В приведенных выше математических уравнениях ограничение (9) требует, чтобы улучшения пропускной способности на линии a подчинялись нижнему/верхнему пределу $\beta_a^{min} / \beta_a^{max}$, тогда как ограничение (10) накладывает бюджетное ограничение.

Уравнение (12) является ограничением определения, которое указывает связь между потоком канала и потоком пути, в то время как уравнение (13) указывает ограничение сохранения спроса. Уравнения (14) и (15) указывают, что поток в каждой линии связи и, соответственно, требование $O-D$ должны быть больше или равны нулю.

Выводы. Большое количество исследований, в которых изучалось взаимодействие между различными параметрами ГА, показало, что в целом генетический алгоритм будет хорошо работать с высокой степенью кроссовера и низкой вероятностью мутаций. Таким образом, общими для каждого прогона были следующие настройки параметров: размер популяции составлял 20, частота кроссовера – 80 %, а частота мутаций – 3 %.

Список литературы

1. Akca, Z., Berger, R. T. and Ralphs, T. K. (2009), A branch-and-price algorithm for combined location and routing problems under capacity restrictions, in J. Chinneck, B. Kristjansson and M. Saltzman, eds, 'Operations Research and Cyber-Infrastructure. Operations Research/Computer Science Interfaces, vol 47.', Springer, Boston, pp. 309–330.
2. Baptista, S., Oliveira, R. C. and Zúquete, E. (2002), 'A period vehicle routing case study', European Journal of Operational Research 139(2), 220–229.
3. Bautista, J., Fernández, E. and Pereira, J. (2008), 'Solving an urban waste collection problem using ants heuristics', Computers & Operations Research 35(9), 3020–3033.
4. Утепбергенов И.Т., Ахмедиярова А.Т., Шилибаева А.С. Нахождение интегрального максимального потока транспортной сети в заданном направлении // Вестник КазНПУ им. Абая. - 2015. - № 4. - С. 53-58.
5. Утепбергенов И.Т., Ахмедиярова А.Т., Бижанова А.С. Об одной задаче маршрутизации транспорта на городских транспортных сетях // Вестник КазАТК им. М.Тынышпаева. - 2015. - № 5-6. - С. 59-64.
6. Beliën, J., De Boeck, L. and Van Ackere, J. (2014), 'Municipal solid waste collection and management problems: A literature review', Transportation Science 48(1), 78–102. Beltrami, E. J. and Bodin, L.D. (1974), 'Networks and vehicle routing for municipal waste collection', Networks 4(1), 65–94.
7. Chen, Y. M. and Lin, C.-T. (2009), 'A coordinated approach to hedge the risks in stochastic inventory-routing problem', Computers & Industrial Engineering 56(3), 1095–1112.
8. Chica, M., Juan Pérez, A. A., Cordon, O. and Kelton, D. (2017), 'Why simheuristics? benefits, limitations, and best practices when combining metaheuristics with simulation', SSRN Open Access Papers, DOI 10.2139/ssrn.2919208.
9. Elkosantini, S. and Gien, D. (2009), 'Integration of human behavioural aspects in a dynamic model for a manufacturing system', International Journal of Production Research 47(10), 2601–2623.
10. Erdmann, M. (1999), Konsolidierungspotentiale von Speditionskooperationen: Eine simulationsgestützte Analyse, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden. Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-663-08648-2>, in German.

11. C.F. Daganzo and Y. Sheffi, "On stochastic models of traffic assignment", Transportation Science 11 (3), 253–274 (1977).
12. L.N. Vicente and P.H. Calamai, "Bilevel and multilevel programming. A bibliography review", J. Global Optimization 5, 291–306 (1994).

Получено 3.11.2020

МРНТИ 29.19.16

Л.С. Баймолданова¹, А.Д. Погребняк², Г.К. Уазырханова¹, Г.У. Ерболатова¹

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

²Сумский государственный университет, г. Сумы, Украина

ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ, МЕЖФАЗНЫХ ГРАНИЦ РАЗДЕЛА НАНОКОМПОЗИТНОГО ПОКРЫТИЯ (TiAlSiY)N/CRN НА ЕГО ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

В данной работе были исследованы влияние границ раздела микроструктуры слоев, термодинамики смешения на трибологические свойства нанокompозитного покрытия (TiAlSiY)N/CrN после ионной имплантации Au. Также в работе рассмотрены механизмы разрушения покрытий и даны спектры РФЭС, показывающие химические связи, сформировавшиеся в многослойных (TiAlSiY)N/CrN покрытиях до и после имплантации ионов Au.

Бұл жұмыста ионды имплантациялаудан кейінгі (TiAlSiY)N/CrN нанокompозитті жабынының қабаттың шекараарасы микроқұрылымының және термодинамика араласуының механикалық және трибологиялық қасиеттеріне әсері зерттелді. Сондай-ақ, жұмыста жабындардың бұзылу механизмдері қарастырылған және көп қабатты (TiAlSiY)N/CrN жабындарда түзілген химиялық қосылыстарды көрсететін Au иондарымен имплантациялауға дейінгі және кейінгі XPS спектрлері келтірілген.

In this work, we investigated the influence of the interfaces microstructure of layers, thermodynamics of mixing on the mechanical and tribological properties of the nanocomposite coating (TiAlSiY)N/CrN after ion implantation. The work also considers the mechanisms of destruction of coatings and gives XPS spectra showing the chemical bonds formed in multilayer (TiAlSiY)N/CrN coatings before and after implantation of Au ions.

Ключевые слова: микроструктура, интерфейс, энергия термодинамики смешения, износ, трение, ионная имплантация.

Введение. Гетерофазные защитные покрытия с многокомпонентной структурой, как правило, увеличивают твердость из-за уменьшения параметра решетки и увеличения массы межметаллических атомов, ведущих к процессам смешения/замещения, в то время как их хрупкость возрастает из-за увеличения остаточного напряжения. Многослойная композитная архитектура, основанная на модулированной комбинации $Ti_{1-x}Al_xSiN/MeN$ (Me – переходный металл), способна демонстрировать структурное совершенство с нанотвердостью до 50 ГПа и в то же время эффективно противостоять пластической деформации и термическим напряжениям [1-3].

В большом количестве научных статей, посвященных изучению функциональных свойств и влияния микроструктуры, а также термодинамики осаждения, роста зерен и эволюции структуры многослойных покрытий были получены и систематизированы основные знания и зависимости. Показана взаимосвязь между формированием структуры, размером нанозерен, диффузией на границе раздела (между слоями разного состава) с изменением физико-механических свойств многослойных нанокompозитных покрытий. Также исследовались влияние комбинаторного эффекта поверхностной энергии и плоскости роста, анизотропия энергии деформации и изменения структуры интерфейса [4-6].

Использование высокодозной ионной имплантации (10^{17} см^{-2}) для изменения поверхности позволяет изменять фазу и элементарный состав без изменения геометрии поверхности. Перераспределение атомной структуры наряду с увеличением силы сцепления поверхности приводит к про-

никновению рассеянных частиц, что повышает устойчивость к растрескиванию и пластичности композитной матрицы. Влияние интерфейсов и несоответствия решетчатых систем в многослойных системах на основе CrN на характер их разложения еще не изучено.

В связи с вышеизложенным, целью данной работы является исследование влияния границ раздела переходных слоев, термодинамики смешения на трибологические свойства многослойных и многоэлементных покрытий на основе (TiAlSiY)N/CrN.

Материал и методы исследования. В качестве материала исследования были выбраны многослойные покрытия (TiAlSiY)N/CrN. Экспериментальные исследования проводили в научных исследовательских лабораториях Сумского государственного университета (Украина) и Центра опережающего развития «Veritas» Восточно-Казахстанского технического университета им Д. Серикбаева.

Многослойные наноразмерные покрытия были получены с помощью системы катодно-дугового осаждения из паровой фазы (CA-PVD) из следующих катодов: спеченного композита TiAlSiY (19,37 ат.% Ti, 7,18 ат.% Al, 0,39 - 0,85 ат.% Si, 0,25 - 0,97 ат.% Y) и чистого Cr (99,98 ат. % чистоты). Средняя толщина покрытия составила 16,44 мкм, концентрация азота $C_N = 54,35 - 54,84$ ат. %.

Ионная имплантация проводилась с помощью ионно-лучевого ускорителя (имплантера) Nissin High Voltage Co.Ltd с плотностью ионного тока $1,36 \text{ мА/см}^2$. Отрицательные ионы Au^- с энергией 60 кэВ были имплантированы покрытием с флюенсом $1 \cdot 10^{17}$ ион/см² для изготовления наночастиц [7].

Рентгеноструктурный фазовый анализ на дифрактометре RINT 2500 MDG (Rigaku, Япония) с источником излучения Cr-K α ($\lambda=0,2289 \text{ нм}$) выполняли в геометрии Брег-Брентано (сканирование θ - 2θ) при напряжении 40 кВ и токе 15 мА. Микроструктура пленок исследовалась с использованием сканирующего/просвечивающего электронного микроскопа (S/TEM) JEOL F200 (рабочее напряжение 200 кВ), а элементный анализ проводился с использованием спектрометра JEOL с кремниевым дрейфовым детектором с площадью 100 мм^2 (EDX). Поверхностные структурные свойства были проанализированы с помощью метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) с электронным анализатором SCIENCE SES 2002, с использованием монохроматизированного Al-K α рентгеновского излучения в качестве источника возбуждения и выбирающих $1s \text{ C}$ (284,8 эВ). Площадь сканирования составила $1 \times 3 \text{ мм}$ с энергией прохождения 500 эВ с шагом энергии 0,2 эВ и временем шага 200 мс. Энергия связи спектрометра была откалибрована по положению уровня Ферми на чистом металлическом образце. Эксперименты проводились в системе сверхвысокого вакуума с базовым давлением около $6 \cdot 10^{-8}$ Па. Для анализа данных XPS использовалось программное обеспечение CasaXPS [8-10]. Тестирование инструмента на адгезионную прочность покрытия в процессе резания проводилось при точении резцами заготовок диаметром 84 мм из закаленной стали CRWMN (T31507)HRC=53. Режимы резания: $t=0,2 \text{ мм}$, $V = -10^\circ$, $\alpha=10^\circ$. Режущая пластина – резец из PCBN марки «борсинит» RNUN-070300 без фаски.

Результаты и обсуждения. Полученные результаты экспериментальных исследований многослойных пленок (TiAlSiY)N/CrN, TiAlN/CrN до и после имплантации тяжелыми отрицательными ионами показали, что соответствующими пиками являются фазы с ГЦК и гексагональных решеток, более выраженных при отражении ГЦК (200). Подробные рентгеновские дифрактограммы показаны на рис. 1. Линия (111) расширяется в результате наложения пиков (эффект когерентного роста). Образец после катодно-дугового осаждения может состоять из фаз TiN (PDF [065-0565]), AlN (PDF [046-1200]), CrN (PDF [065-2899]). Расширение пиков также может быть проявлением эффекта границ раздела из-за малого периода длины волны модуляции между решетками. Более высокое межплоскостное расстояние по отношению к гексагональным фазам, а также интенсивность рефлекса ГЦК (111) указывают на присутствие большого потока азота во время осаждения, поскольку нет ни одной из интенсивных фаз чистого Ti, Cr и Al [11]. Обнаружен широкий пик фазы вюрцита (гексагональный-AlN) (102) при $51,25^\circ$, следовательно, AlN может находиться в нанокристаллическом состоянии.

Как показано на рис. 1 никаких видимых изменений после ионного облучения не наблюдалось, так как отрицательные ионы Au прошли не более 150 нм в глубину покрытия, когда глубина анализа XRD составляет около 1,5 мкм. Очевидно, что включения Au в основном состоят из нелинейно распределенных кластерных и рентгеноаморфных структур.

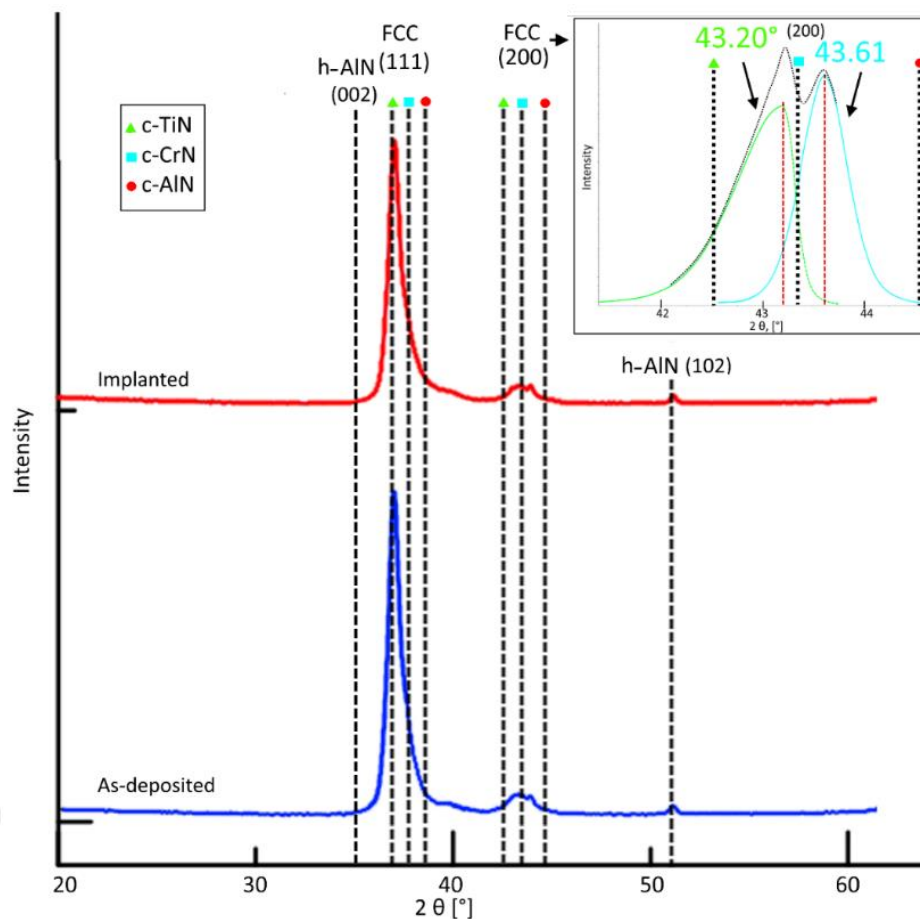


Рисунок 1 – Рентгенограммы многослойных пленок $TiAlN/CrN$, нанесенных на стальные подложки: исходные (синяя линия) и после ионной имплантации (красная линия). Скорость сканирования 1 град./15 мин.

На рис. 2, *a* показаны микрофотографии S/TEM и SAED-картина многослойных покрытий с видимыми разделенными наностолбиками, ориентированными аксиально к направлению роста. Расчетный бислойный период составляет $\sim 18,5$ нм, где верхний слой представляет собой $(TiAlSiY)N$, а нижний – CrN . Электронная дифракция в выбранной области (SAED) (рис. 2, *b*) подтверждает наличие выраженного когерентного роста (111), что хорошо согласуется с данными рентгенофазового анализа. Осажденный образец показал текстуру $\{111\}$ и столбчатый рост, причем столбцы предположительно разделены границами зерен/дислокациями. Параметр решетки составляет $4,193 \text{ \AA}$ при среднем размере зерен 8 нм (ICDD 26-947). В процессе имплантации верхняя поверхность нанокompозита подвергается аморфизации с повышенной дефектностью.

Au проникает в пленку на глубину 20 нм, т.е. 1 слой выше решетки, который хорошо виден из HAADF-BSTEM (вставка на рис. 2, *c*). Размеры аморфизированных зерен в большинстве меньше или равны 3 нм. SAED изображение полученного с границы раздела $TiAlSiYN-CrN$ из неповрежденного бислоя, как и в необработанном образце (здесь не показана), показывает, что зерна ориентированы предположительно в одном направлении, что свидетельствует о стабилизации напряжений когерентности. Зерна имеют различные формы и размера из-за имплантации высоких доз ионов и создания точечных дефектов в верхних поверхностных слоях (рис. 2, *d*). Подробное описание кинетики облучения Au, включая структурные исследования образования зон аморфизации методом HRTEM, приведено в [12].

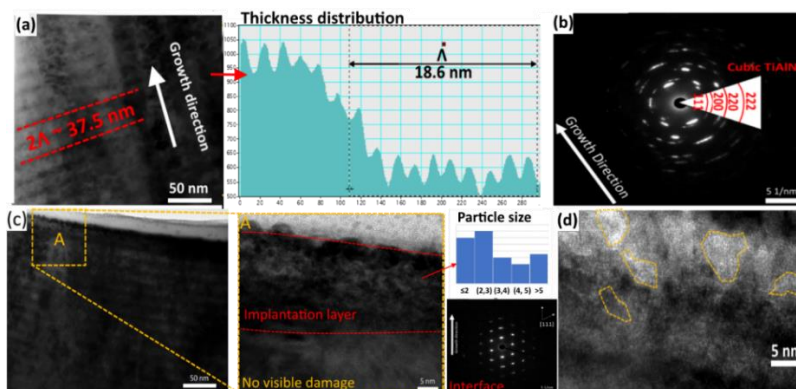


Рисунок 2 – S/TEM-изображение осажденного образца (TiAlSiY)N/CrN с линейной разверткой толщины: а – с соответствующим SAED; б – изображения поперечного сечения образца, имплантированного Au; в – с соответствующим SAED вдоль направления 110; д – изображение слоя имплантации с помощью HRTEM

Для определения физико-химических свойств необходимо получить подробную информацию о связях в твердом растворе и образовавшихся аморфных фазах, где не могут использоваться методы РСА и РПЭМ. Таким образом, для исследования элементного состава и химического состояния покрытия была использована рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Обзорные спектры самой верхней части поверхности образцов (TiAlSiY)N/CrN (рис. 3) указывают на появление множества пиков от 70 до 1230 эВ, которые были соответственно обозначены. Пик Al 2s определяет насыщение поверхности оксида алюминия как в окисленной, так и в металлической (нитридной) форме [13]. Дублет Pt 4d в диапазоне 315-330 эВ указывает на остаточный кластер от нанесенной защитной пленки платины, которая использовалась для структурных исследований РФИВ-РПЭМ. Небольшие фракции иттрия представлены четко выраженными линиями Y 3d в диапазоне 155 – 152 эВ. Узкий, асимметричный и выпуклый пик при 83,05 эВ соответствует линии Au 4f вследствие облучения ионами золота. Его форма в основном обусловлена небольшой концентрацией и нелинейным распределением. Загрязнение (C 1s) и окисление (O 1s) пленки в пределах нормы для необработанной ионным пучком поверхности. Низкоинтенсивный пик Cr 2p, который можно увидеть на спектрах покрытий, имплантированных Au, показывает незначительное повреждение поверхности во время облучения.

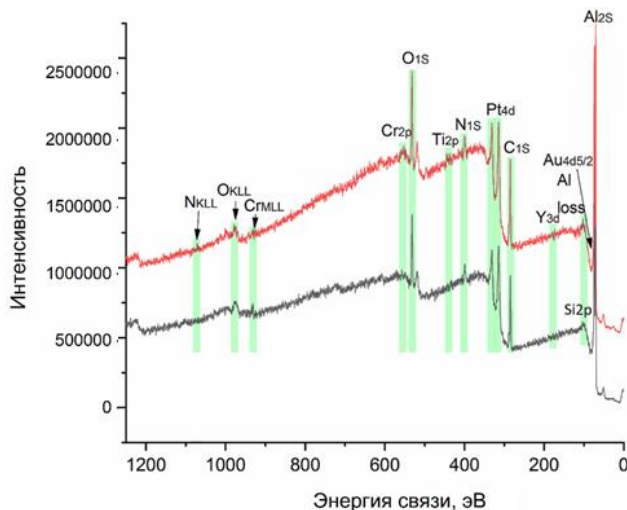


Рисунок 3 – Спектры РФЭС, показывающие химические связи, сформировавшиеся в многослойных (TiAlSiY)N/CrN покрытиях до и после имплантации ионов Au

Для износостойких покрытий важной характеристикой является прочность сцепления с подложкой. Были выбраны параметры осаждения покрытий для испытаний на износ при резании. Покрытия отличались процессом подготовки перед нанесением образцов.

После проведения испытаний (истирания) состав покрытия отличается по ширине канавки и вблизи нее. Чем глубже царапина, тем меньше концентрация Ti (от 68 до 4 ат. %), Cr (от 1,47 до 30 ат. %), в то же время увеличивается концентрация Fe (от 0,17 до 2,39 ат. %).

Результаты тестирования на резание приведены на рис. 5. Как видно из рисунков, нет следов скалывания на поверхности раздела PBCN-покрытия для серии № 2 (TiAlSiYN)/CrN образцов, следовательно адгезия высокая.

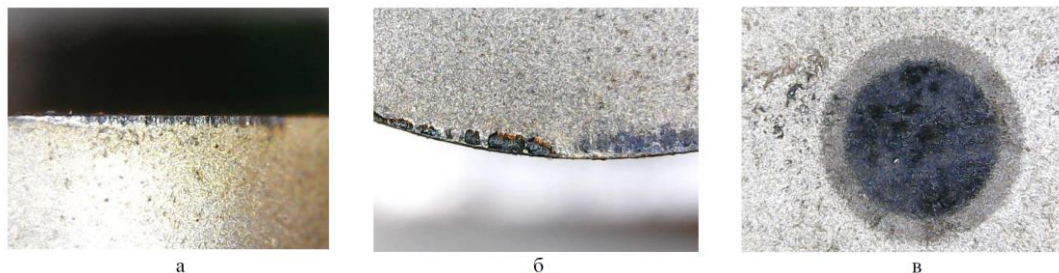


Рисунок 3 – Результаты тестирования на резание образцов серии 2: а – передняя поверхность, б – задняя поверхность, в – лунка (следов скалывания на поверхности раздела PBCN-покрытие нет)

На рис. 4 представлен график зависимости изменения коэффициента трения (μ) и акустической эмиссии (АЕ) от нагрузки (FF) на образец с покрытием TiAlSiYN/CrN серии № 2, а также значения критических нагрузок L_{C1} - L_{C5} .

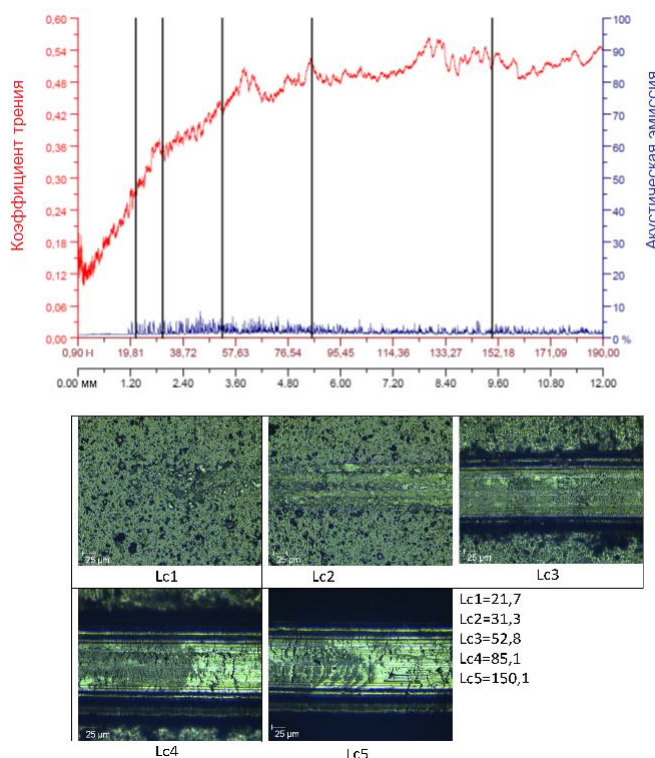


Рисунок 4 – Зависимости изменения коэффициента трения и акустической эмиссии от длины царапины и нагрузки, а также критические нагрузки для серии №2 TiAlSiYN/CrN покрытия

По виду изменения амплитуды (АЕ) можно сказать об интенсивности образования трещин и их развитии в образце. У покрытия TiAlSiYN/CrN ее относительно малая величина практически не менялась в течение всего времени эксперимента. Сигнал акустической эмиссии сохраняется практически неизменным, что свидетельствует об отсутствии разрушения из-за трещинообразования.

В результате испытаний определяли минимальную (критическую) нагрузку L_C , которая приводила к разрушению покрытия. О частичном истирании покрытия до подложки можно сказать по резкому изменению интенсивности роста коэффициента трения и силы трения, связанному с проникновением индентора в материал подложки. Первая трещина в покрытии образуется при нагрузке $L_{C1}=21,7$ Н, что сопровождается заметным увеличением интенсивности (АЕ), т.е. проявляется отслаивание покрытия от подложки. При нагрузке $L_{C3}=52,8$ Н разрушение носит когезионно-адгезионный характер. Локальное отслаивание участков покрытия (когда на дне царапины можно увидеть материал подложки) отмечалось лишь после достижения нагрузки $L_{C4}=85,1$ Н. Такое значение говорит о высокой адгезионной прочности сцепления покрытий с подложкой. Пластическое истирание покрытия до подложки наблюдалось только при нагрузке $L_{C5}=150,1$ Н, что приводит к потере адгезионной прочности.

Интенсивность изнашивания сильно зависит от твердости покрытия и прочности адгезии между слоями. Следует отметить то, что для многослойных нанокompозитных покрытий межзеренные и межслойные границы являются зоной интенсивной диссипации энергии и отклонения трещин от направления движения, что ведет к упрочнению материала.

Выводы. На основании микроструктурных характеристик было обнаружено, что эффекты интерфейса вызывают спинодальный распад с образованием эпитаксиального роста из-за метастабильных связей и перераспределения элементов. Термодинамика смешивания удовлетворяет минимальной второй производной энергии Гиббса, которая должна быть отрицательной, и вынуждает разделить фазы c-TiN и h-AlN с последующей стабилизацией c-AlN на границе раздела CrN .

Было показано, что многослойные структуры $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N/CrN}$ оказывают стабилизирующее действие на сплавы $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$. Можно считать, что наиболее стабильными мультислоями $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N/CrN}$ будут слои с высоким содержанием AlN , а AlN может находиться в нанокристаллическом состоянии.

Экспериментально доказано, что за счет межфазного влияния высокой энергии образования, определяемой элементарным составом и малым периодом бислоя 18,6 нм, энергетически предпочтительнее образование богатых AlN кубических когерентных бислоев $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N/CrN}$ со столбчатой текстурой $\{111\}$ и уменьшением нанозерен до 8 нм.

Ионная имплантация тяжелыми ионами Au с энергией 60 кэВ привела к очень незначительным изменениям. Фаза, состав и когерентность имплантированной поверхности в основном не меняются. Диапазон пробега ионов 20 нм делает такую гетероструктуру радиационной.

В результате резания образцов-пластинок с наноструктурным покрытием $(\text{TiAlSiY})\text{N/CrN}$, следов скалывания на поверхности раздела покрытия нет, следовательно адгезия высокая.

Для многослойных нанокompозитных покрытий межзеренные и межслойные границы являются зоной интенсивной диссипации энергии и отклонения трещин от направления движения, что ведет к упрочнению материала. Отсюда более длительный срок испытаний для этих резцов при работе до разрушения, т.е. максимально увеличивается срок эксплуатационного состояния, особенно в условиях действий циклических термомеханических напряжений.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК по теме «Многокомпонентные и многослойные покрытия нанометрового масштаба с изменяющейся архитектурой для защиты от трения и износа» по договору № 104 от 5 марта 2018 года.

Авторы выражают благодарность В.М. Бересневу, Р. Вебстеру и Р. Тилли за помощь в проведении экспериментов и интерпретации полученных результатов.

Список литературы

1. Warcholinski B, Gilewicz A. Mechanical properties of multilayer TiAlN/CrN coatings deposited by cathodic arc evaporation. Surf Eng 2011;27:491–7. – <https://doi.org/10.1179/026708410X12786785573355>.

2. Li YS, Shimada S, Kiyono H, Hirose A. Synthesis of Ti-Al-Si-N nanocomposite films using liquid injection PECVD from alkoxide precursors. *Acta Mater* 2006;54:2041–8. – <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2005.12.034>.
3. Pogrebnjak AD, Ivashchenko VI, Skrynsky PL, Bondar O V., Konarski P, Załęski K, et al. Experimental and theoretical studies of the physicochemical and mechanical properties of multi-layered TiN/SiC films: Temperature effects on the nanocomposite structure. *Compos Part B Eng* 2018;142:85–94. – <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.01.004>.
4. Pogrebnjak AD, Eyidi D, Abadias G, Bondar OV, Beresnev VM, Sobol OV. Structure and properties of arc evaporated nanoscale TiN/MoN multilayered syPPЭMs. *Int J Refract Met Hard Mater* 2015;48:222–8. – <https://doi.org/10.1016/j.jrmhm.2014.07.043>.
5. Pogrebnjak AD, Beresnev VM, Bondar OV, Postolnyi BO, Zaleski K, Coy E, et al. Superhard CrN/MoN coatings with multilayer architecture. *Mater Des* 2018;153:47–59. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.05.001>.
6. Ivashchenko VI, Veprek S, Turchi PEA, Shevchenko VI. First-principles study of TiN/SiC/TiN interfaces in superhard nanocomposites. *Phys Rev B* 2012;86:014110. – <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.86.014110>.
7. A.D. Pogrebnjak, C.H. Kong, R.F. Webster, R.D. Tilley, Y. Takeda, K. Oyoshi, O. V. Bondar, V. V. Buranich, S. V. Konstantinov, L.S. Baimoldanova, M. Opielak, P. Zukowski, P. Konarski, Antibacterial Effect of Au Implantation in Ductile Nanocomposite Multilayer (TiAlSiY)N/CrN Coatings, *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 11 (2019) 48540–48550. – <https://doi.org/10.1021/acsami.9b16328>.
8. CasaXPS: Processing Software for XPS, AES, SIMS and More, (2009). – www.casaxps.com.
9. M.C. Biesinger, L.W.M. Lau, A.R. Gerson, R.S.C. Smart, Resolving surface chemical states in XPS analysis of first row transition metals, oxides and hydroxides: Sc, Ti, V, Cu and Zn, *Appl. Surf. Sci.* 257 (2010) 887–898. – <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.07.086>.
10. C.D. Wagner, D.E. Passoja, H.F. Hillery, T.G. Kinisky, H.A. Six, W.T. Jansen, J.A. Taylor, Auger and photoelectron line energy relationships in Al-O and Si-O compounds // *J. Vac. Sci. Technol.* 21 (1982) 933–944.
11. H.C. Barshilia, M.S. Prakash, A. Jain, K.S. Rajam, Structure, hardness and thermal stability of TiAlN and nanolayered TiAlN/CrN multilayer films // *Vacuum*. 77 (2005) 169–179. – <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2004.08.020>.
12. A.D. Pogrebnjak, C.H. Kong, R.F. Webster, R.D. Tilley, Y. Takeda, K. Oyoshi, O. V. Bondar, V. V. Buranich, S. V. Konstantinov, L.S. Baimoldanova, M. Opielak, P. Zukowski, P. Konarski, Antibacterial Effect of Au Implantation in Ductile Nanocomposite Multilayer (TiAlSiY)N/CrN Coatings, *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 11 (2019) 48540–48550. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b16328>.
13. Kurtz RL, Henrich VE. Comparison of Ti 2 p Core-Level Peaks from TiO₂, Ti₂O₃, and Ti Metal, by XPS. *Surf Sci Spectra* 1998;5:179–81. – <https://doi.org/10.1116/1.1247874>.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 53.37.91

А.Г. Бакиров¹, А.К. Жунусов², С.А. Абдулина¹, Г.М. Ибраева³

¹НАО Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

²НАО «Торайгыров Университет», г. Павлодар

³НАО «Сатпаев Университет», Институт металлургии и обогащения, г. Алматы

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ МИКРОСФЕР ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ АКСУСКОЙ ГРЭС, ИСПОЛЗУЮЩЕЙ ЭКИБАСТУЗСКИЕ УГЛИ

В статье рассматривается исследование алюмосиликатных микросфер из золошлаковых отходов Аксуской ГРЭС. Описаны исследования химического, элементного состава, растровой электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализатором.

Мақалада Ақсу ГРЭС-нің күл қождары қалдықтарынан алюмосиликатты микросфераларды зерттеу қарастырылған. Химиялық, элементтер құрамы және растрлы электрон микроскопиясы рентгенспектральды микроанализаторының зерттеулері көрсетілген.

The article deals with the study of aluminosilicate microspheres from ash and slag waste of Aksu GRES. Studies of chemical, elemental composition, and scanning electron microscopy with an x-ray spectral microanalyzer are described.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, алюмосиликатные микросферы, полые ценосферы, плеросферы.

В Казахстане 80 % энергии вырабатывается на угольных станциях. Производство электрической энергии осуществляется на 14 мощных ТЭС, где сжигаются в основном экибастузские угли. Всего в республике в год сжигают 25-30 млн. тонн угля. Запасы углей экибастузского бассейна составляют более 11 млрд. тонн, их зольность составляет 50-60 % [1].

Зола на 95-98 % состоит из минеральных соединений оксидов кремния, алюминия, железа, кальция, магния, оксидов щелочей, сульфатов, сульфидов и редких металлов. Минеральные продукты золы могут превращаться в ценные товары [2-3]

В процессе фракционирования золошлаковых материалов легко выделяются микросферы, применяемые в металлургии, приборостроении, радиотехнике и электронике.

Микросферы алюмосиликатные (ценосферы) – это полые твердые частицы малого размера, образующиеся при сжигании углей в котлах электростанций в результате грануляции расплава минеральной части углей и раздува раздробленных мелких капель внутренними газами. Диаметр от 10 до нескольких сотен микрометров, в среднем около 100 мкм. Толщина стенок от 2 до 10 мкм, температура плавления 1400-1500 °С, плотность 580-690 кг/м³. Микросферы отличаются низкой плотностью, высокой механической прочностью, химической инертностью, термостойкостью и низкой теплопроводностью.

Для исследования были взяты 4 пробы алюмосиликатных микросфер, полученных после флотационного обогащения.

Химический состав (табл. 1) представлен оксидами алюминия, кремния, железа, кальция, титана, серы и натрия (75 масс. %).

Таблица 1

Химический состав алюмосиликатных микросфер, масс. %

Оксид	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	P ₂ O ₅
Проба № 40	20,438	42,600	0,293	2,122	1,210	5,697	0,263	0,357
Проба № 42	19,296	46,355	0,396	2,471	1,191	6,470	0,458	0,292
Проба № 44	18,910	47,425	0,381	2,426	1,105	4,795	0,326	0,392
Проба № 46	20,436	43,693	0,131	2,869	1,200	15,477	0,341	0,481

Исследования проводились на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL при ускоряющем напряжении 25 кВ и токе электронного пучка до 5 нА. Технические возможности прибора соответствуют его паспортным данным, согласно которым детектирование примесей или компонентов вещества (от бора до урана) и расчет их концентраций проводятся стандартными методами на основе собственной программы ЕРМА фирмы JEOL. Размеры и ток пучка электронов подбирались опытным путем, чтобы обеспечить достаточную статистику набора импульсов характеристического рентгеновского излучения (ХРИ), причем так называемое «мертвое время» составляло от 10 до 30 %. Монтаж отвечал перпендикулярному положению пробы по отношению к пучку электронов, что позволяет получать результаты автоматического расчета детектируемых импульсов с высокой достоверностью.

Для всех участков, выбранных для растрового электронно-микроскопического (РЭМ) исследования, применялся режим обратно рассеянных электронов (СОМРО), который дает более качественные изображения таких объектов по сравнению с режимом наблюдений, и съемки во вторичных электронах (SEI). Основной особенностью РЭМ-контраста в режиме обратно рассеянных электронов является известный факт более яркого высвечивания частиц с большим атомным номером по сравнению с частицами, составляющими общий фон [7, 8].

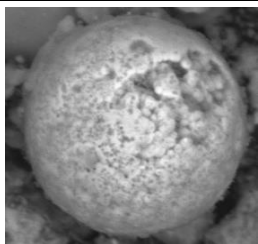
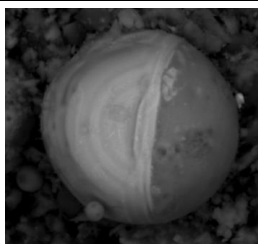

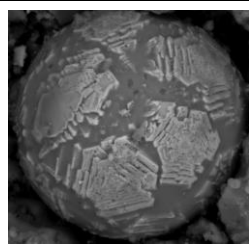
Были получены микрофотографии в режиме обратно рассеянных электронов и во вторичных электронах на увеличениях от X100 до X2500.

Образцы представляют собой сыпучий порошок в виде разных частиц неправильной формы, различных структур и глобул с многообразием морфологических признаков: идеальные сферы с неповрежденной гладкой или перфорированной поверхностью, полые сферы и заполненные мелкими частицами, в виде осколков и всяких пористых крупинок неправильных форм. Интервал размеров наблюдаемых частиц от 1 до 150 мкм.

Представленные в табл. 2 выборочные снимки демонстрируют наиболее характерные различия формы и морфологических признаков отдельных глобул: идеальные сферы с неповрежденной гладкой или перфорированной поверхностью, полые ценосферы, плеросферы (проба 46), агрегаты мелких сфер на поверхности или в полостях и впадинах больших глобул. Размер частиц по данным СОМРО составляет в среднем 1-150 мкм. Чем меньше размер частиц, тем более сферическую форму они имеют (рис. 1).

Таблица 2

Микросферы

Проба №40	Проба № 42	Проба № 44	Проба №46
			
X500	X 650	X500	X 950

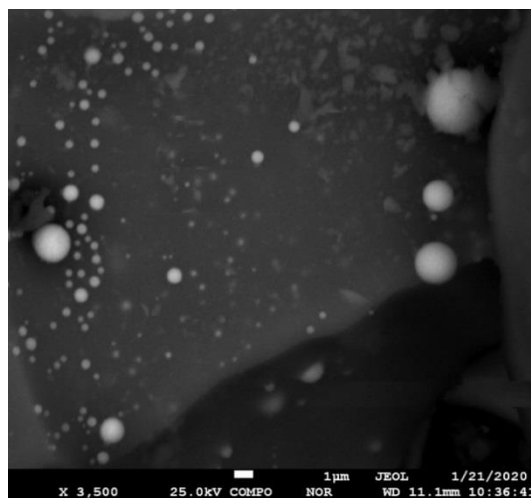


Рисунок 1 – Сферические микросферы. Проба 46X3500

Эти образцы характеризуются практически идеальной сферической формой и преимущественно гладкой поверхностью оболочки, подобные характерны для ценосфер из алюмосиликатного стекла [7]. Размер микросфер по данным СОМРО составляет в среднем 0,5-5 мкм. Все образцы, кроме пробы № 46, содержат большое количество частиц неправильной формы с макропористыми стенками, перфорированной и рельефной поверхностью. Только проба № 46 имеет большое

количество глобул неправильной сферической формы со вспенной оболочкой или рельефной поверхностью. При снимках режима обратно рассеянных электронов в пробе № 46 можно увидеть глобулы сетчатой структуры.

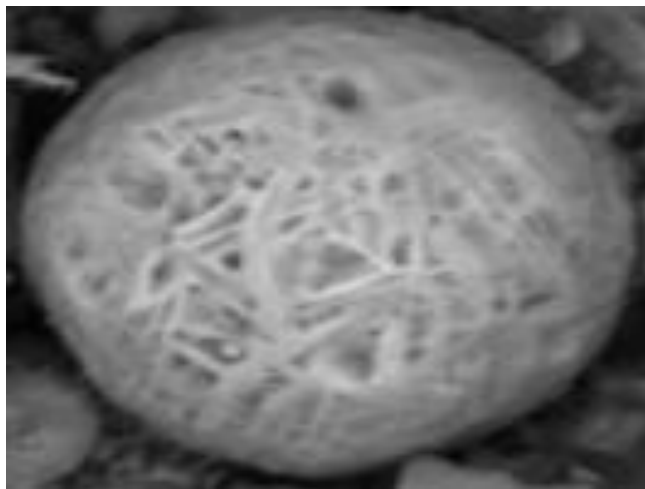


Рисунок 2 – Проба № 46 X250

Анализ с помощью энергодисперсионного спектра проб (EDS-анализ) с поверхности микросфер показал, что основные элементы оболочек микросфер – это Al, Si, Ca, Fe, K, S, Ti, Mg, Mn, Cu, Zn и O. Усредненный элементный состав материала микросфер по данным EDS-анализа приведен в табл. 3.

Таблица 3

EDS 500 tap B (в % масс.)

Элемент	Проба № 40	Проба № 42	Проба № 44	Проба № 46
O	47,27	49,66	50,77	44,59
Mg	0,44	0,29	0,32	0,72
Al	6,56	7,13	8,33	7,79
Si	9,92	11,95	14,05	13,11
S	0,77	0,06	-	-
K	0,14	0,26	0,31	0,21
Ca	1,36	0,97	1,35	2,26
Ti	0,39	0,29	0,56	0,36
Mn	0,29	0,13	-	0,92
Fe	8,93	3,37	2,49	29,20
Cu	0,58	0,60	0,64	0,46
Zn	0,47	0,44	0,52	0,38
Всего	100,00	100,00	100,00	100,00

Следует отметить, что состав материала очень неоднороден для всех образцов, причем эта неоднородность проявляется и для частиц одного и того же образца с одинаковыми морфологическими признаками. На рис. 3 приведены EDS-спектры морфологии частиц микросфер пробы № 42, на которых продемонстрирован различный набор элементов.

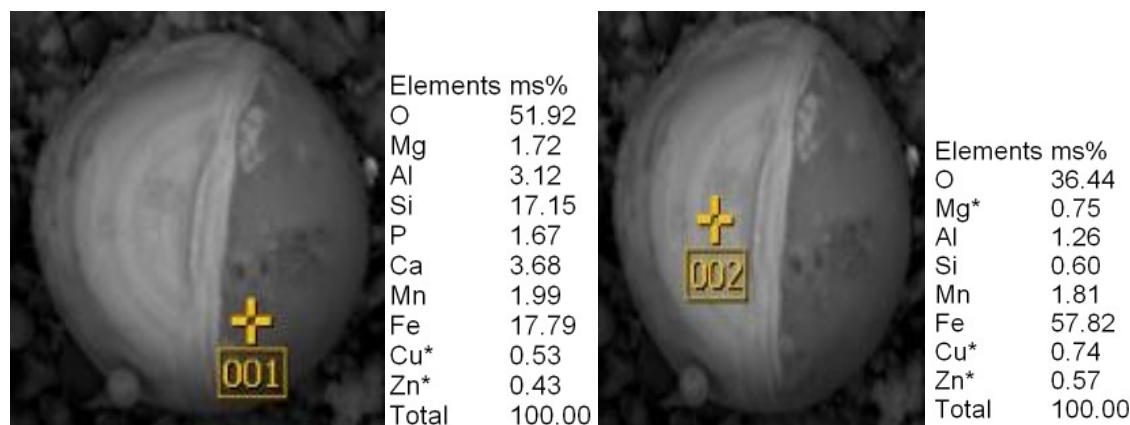


Рисунок 3 – Пробы № 42 X650

Однако, несмотря на неоднородность химического состава проб, усредненные значения по содержанию элементов достаточно близки (табл. 2).

Также можно заметить глобулы с оболочками, похожими на структуру кристаллизации расплавленного металла. На рис. 4 пробы № 42 приведен химический состав участка отмеченного желтым квадратом, который может предполагать содержание фаз напоминающих фаялиты, магнетиты, гортонолиты, ферриты, шпинели, ганиты или доэвтектические силумины [7].

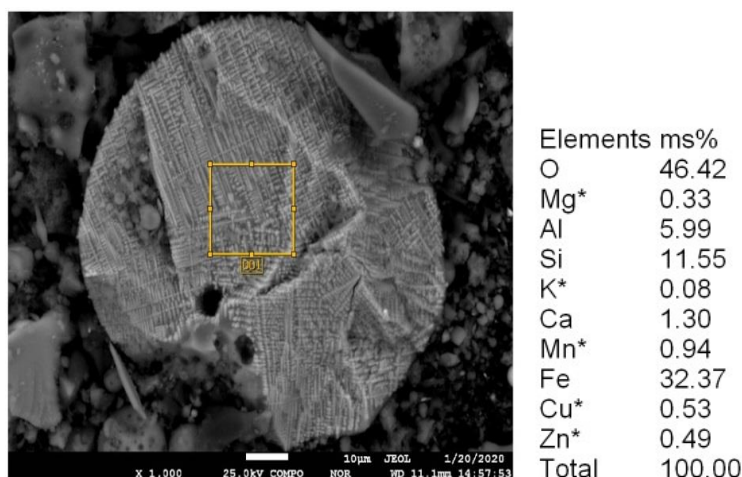


Рисунок 4 – Проба № 42 X1000

С точки зрения большей детализации рекомендуется после разделения в золе компонентов провести рентгено-дифрактометрические измерения с большой статистикой.

Таким образом, результаты исследований показывают, что алюмосиликатные микросферы из золошлаковых отходов ГРЭС можно использовать как готовые микросферы. По приблизительным подсчетам стоимость таких микросфер в десять и более раз ниже, чем микросфер, получаемых промышленными способами.

Список литературы

1. Козлова В.К. Использование зол тепловых электростанций в производстве строительных материалов / В.К. Козлова. – Барнаул: Алт. кн. изд., 1975.

2. Путилин Е.И. Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС / Е.И. Путилин, В.С. Цветков. – М.: Союздор НИИ, 2003. – 60 с.
3. Волженский А.В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов / А.В. Волженский, И.А. Иванов, Б.Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1984. – 255 с.
4. Е.В. Фоменко, Н. Н. Аншиц, Н. Г. Васильева, Е. С. Роговенко, О. А. Михайлова, Е.В. Мазурова, Л.А. Соловьёв, А.Г. Аншиц. Состав и строение оболочки алюмосиликатных микросфер золы-уноса, образующихся от сжигания экибастузского угля // Химия твердого топлива, 2016. – № 4. – С. 34–43.
5. Состав и свойства золы и шлака ТЭС: Справочное пособие / В. Г. Пантелеев, Э. А. Ларина, В. А. Мелентьев и др. / Под. ред. В. А. Мелентьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.
6. Кизильштейн Л.Я., Дубов И.В., Шпицглюз А.Л., Парада С.П. Компоненты зол и шлаков ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 177 с.
7. Рид С.Лж.Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии. – М.: Техносфера, 2008. – 232 с.
8. Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П., Джой Д., Фиори Ч., Лифшин Э. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: в 2-х книгах. – М.: Мир, 1984.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 50.43

А.Е. Бакланов, С.В. Григорьева, И.К. Сагынганова

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТОЛИЧЕСКИХ МАССИВОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ КОНВЕЙЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ТЕПЛОСЕТЕЙ

В статье предлагается использовать систолические массивы для хранения и обработки данных в современных тепловых сетях. Для реализации этого предложения был использован подход, аналогичный используемому в современных операционных системах, а именно организация работы с процессами и потоками.

Бұл жұмыста заманауи жылу желілерінің мәліметтерін сақтау мен өңдеу үшін систоалалық ауқымды қолдану ұсынылған. Ұсынысты жүзеге асыру үшін заманауи операциялық жүйелердегіге ұқсас тәсілдеме қолданылды, яғни үдерістер мен ағындар жұмысын ұйымдастыру.

The article proposes to use systolic arrays for storing and processing data in modern heat networks. To implement this proposal, an approach similar to that used in modern operating systems was used, namely the organization of work with processes and threads.

Ключевые слова: систолический массив, теплосеть, тепловые сети, процессы, потоки, обработка данных.

Уровень технологических возможностей микроэлектроники во многом определяет уровень развития вычислительной техники. Повышение плотности расположения элементов на кристалле, увеличение скорости их переключения приводят не только к повышению быстродействия компьютеров и уменьшению их размеров, но и позволяют разрабатывать вычислительные системы с принципиально новыми архитектурными решениями. Достижения микроэлектроники дают возможность уже в настоящее время создавать достаточно сложные сверхминиатюрные вычислительные устройства, расположенные на одном кристалле. При массовом производстве такие устройства оказываются относительно дешевыми. Все эти обстоятельства не только открывают новые перспективы конструирования вычислительных систем, но и порождают многочисленные новые проблемы, в том числе математические.

Одной из самых трудных является проблема создания коммуникационных сетей, обеспечивающих быстрые необходимые связи между отдельными функциональными устройствами. Пока скорости срабатывания устройств были не очень большими, основными факторами, препятствующими созданию нужных коммуникационных сетей, являлись число линий связи и сложность

коммутаторов. Однако с ростом скорости срабатывания устройств наряду с этими факторами стали иметь большое значение и длины линий связи.

В определенном отношении самой простой и эффективной является коммуникационная сеть, в которой нет коммутаторов, все устройства соединены непосредственно друг с другом, а потому и времена задержек при передаче информации минимальные, в некотором смысле нулевые. С конца семидесятых годов прошлого столетия стали появляться работы, активно призывающие строить специализированные вычислительные системы, получившие название «систолические массивы». Эти системы устроены предельно просто и имеют предельно простую коммуникационную сеть. Поэтому они являются исключительно эффективными по быстродействию, но каждая из них ориентирована на решение весьма узкого класса задач. В нашем случае это передача данных с кластера тепловых пунктов.

Общий подход к конструированию математических моделей систолических массивов основан на следующей идее [1, 2]. Пусть в нашем распоряжении имеется достаточно большое число функциональных устройств, которые являются простыми и срабатывают за одно время. Математическое содержание и техническая конструкция сейчас не имеют особого значения. Важно, чтобы входная и входная информация устройств соответствовали друг другу. Если по каким-либо причинам информация не подается на входы устройств, ничто не мешает считать, что она в этих случаях вырабатывается самими функциональными устройствами. Допустим, что конструктивно каждое функциональное устройство выполнено в виде некоторого плоского правильного четырех- или шестиугольника, входы и выходы которого выведены на границу многогранников. Будем называть эти функциональные устройства систолическими ячейками (процессорными элементами, элементарными процессорами, чипами и т. п.).

Теперь начнем складывать различные фигуры, присоединяя без наложения последовательно многоугольник за многоугольником и предполагая, что соседние многоугольники соприкасаются друг с другом. В местах соприкосновения соединим входы и выходы соседних функциональных устройств. В результате такого построения получится некоторая фигура, у которой останутся свободными какие-то входы и выходы. Мы получим модель специализированной вычислительной системы, если заставим всю совокупность собранных устройств работать в синхронном режиме с одинаковым временным тактом. Подавая на свободные входы в том же синхронном режиме входные данные, начиная с некоторого момента будем получать какие-то результаты на свободных выходах. Созданная подобным образом модельная вычислительная система называется систолической системой.

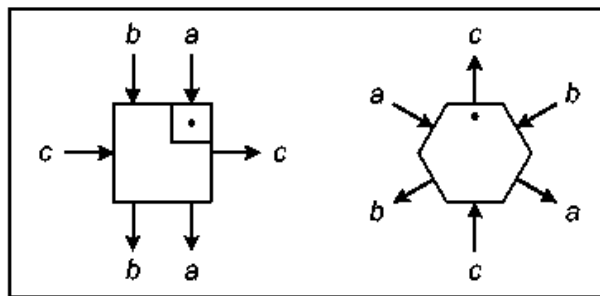
Будем считать, что при построении систолических систем используются только плоские многоугольники. Они имеют одинаковые конфигурации и размеры, пристыковываются друг к другу без зазоров и все вместе находятся в одной плоскости, образуя некоторый плоский массив. Подобные систолические системы и называются систолическими массивами.

Прежде чем обсуждать аспекты конструирования и функционирования систолических массивов, рассмотрим простой пример. Это один из первых систолических массивов, построенных с момента возникновения самой идеи создания систем такого типа. Предположим, что необходимо построить специализированную вычислительную систему, на которой достаточно быстро реализуется операция вычисления матрицы $D = C + AB$, где

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \\ a_{31} & a_{32} & \dots & \dots \\ 0 & a_{41} & \dots & \dots \\ \dots & & & \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & 0 \\ b_{21} & b_{22} & \dots & \dots \\ \dots & b_{32} & \dots & \dots \\ 0 & \dots & & \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & 0 \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & \dots & \dots \\ c_{31} & c_{32} & \dots & \dots & \dots \\ c_{41} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & & & \end{bmatrix}.$$

Здесь все матрицы – ленточные порядка n . Матрица A имеет одну диагональ выше и две диагонали ниже главной. Матрица B имеет одну диагональ ниже и две диагонали выше главной. Матрица C имеет по три диагонали выше и ниже главной.

Пусть в нашем распоряжении имеется достаточно большое число функциональных устройств, выполняющих скалярную операцию $C + DE$ и осуществляющих одновременно передачу данных. Такие операции реализуются либо на четырех-, либо на шестиугольных систолических ячейках (рис. 1).

Рисунок 1 – Систолические ячейки с операцией $C + DE$

Здесь каждое функциональное устройство имеет три входа a, b, c и три выхода a, b, c . Входные (in) и выходные (out) данные в общем случае связаны соотношениями $c_{out} = c_{in} + a_{in} b_{in}$, $b_{out} = b_{in}$, $a_{out} = a_{in}$. Если в момент выполнения операции какие-то данные не поступают, то они заменяются нулями. Точка указывает ориентацию систолической ячейки на плоскости.

Рассмотрим систолический массив, реализующий матричную операцию $C + AB$ с указанием расположения и схемы подачи входных данных (рис. 2). При построении использованы шестиугольные систолические ячейки. Вся плоскость покрыта регулярной косоугольной решеткой, образованной двумя семействами равноотстоящих параллельных прямых, пересекающихся под углами соответственно 60° и 120° . В узлах решетки размещены функциональные устройства и входные данные. Система работает по тактам. За каждый такт все данные перемещаются в соседние узлы по направлениям, указанным стрелками. Показано состояние в некоторый момент времени. В следующий такт все данные переместятся на один узел и элементы a_{11}, b_{11}, c_{11} окажутся в одном функциональном устройстве, находящемся на пересечении штриховых линий. Следовательно, будет вычислено выражение $c_{11} + a_{11}b_{11}$. В этот же такт данные a_{12} и b_{21} приблизятся вплотную к функциональному устройству, находящемуся в вершине систолического массива. В последующем такте все данные снова переместятся на один узел в направлении стрелок и в верхнем функциональном устройстве окажутся элементы a_{12}, b_{21} и результат срабатывания функционального устройства, находящегося снизу, т. е. $c_{11} + a_{11}b_{11}$. Следовательно, будет вычислено выражение $c_{11} + a_{11}b_{11} + a_{12}b_{21}$. Это есть элемент d_{11} матрицы D . Продолжая потактовое рассмотрение процесса, можно убедиться, что на выходах функциональных устройств, соответствующих верхней границе систолического массива, периодически через три такта будут выдаваться элементы матрицы D . На каждом выходе будут появляться элементы одной и той же диагонали. Примерно через $3n$ тактов будет закончено вычисление всей матрицы D . Загруженность каждой систолической ячейки асимптотически равна $1/3$.

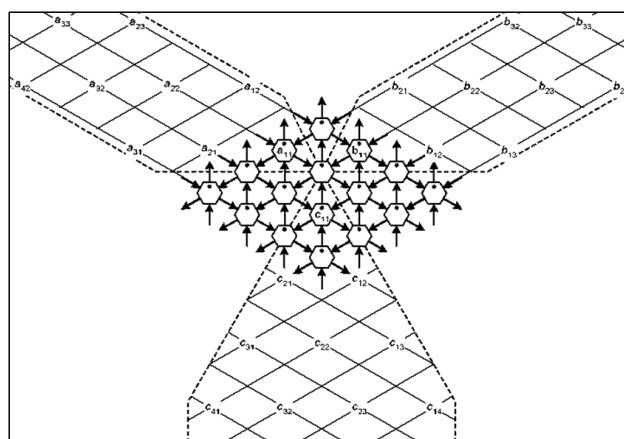


Рисунок 2 – Систолический массив для перемножения ленточных матриц

Для использования систолических массивов нами была разработана технология, позволяющая осуществлять контроль и управление данными, поступающими от большого количества источников. Данная технология основана на параллельно-конвейерной обработке данных, которая реализована в виде стандартных функций в современных языках программирования и позволяют распараллеливать работу как с данными, хранящимися внутри одного компьютера, так и обрабатывать данные множества компьютеров, объединенных в единую сеть. Однако в реальных условиях мы имеем ситуацию, когда сервер данных достаточно удалён от периферийного оборудования и компьютеров пользователя. Это приводит к тому, что с увеличением объёма поступающих данных время обработки увеличивается, тем самым может быть отложена обработка оперативной информации, имеющей важную составляющую, влияющую на безопасность или режимы работы периферийных устройств.

Для повышения эффективности работы с большим потоком данных и организации приоритетов работы с данными предлагается перенести технологию работы центрального процессора с потоками на работу вычислительной машины с данными, поступающими из сети.

Для понимания механизма взаимодействия процессора с потоками необходимо дать некоторые определения и информацию, связанную с потоками и процессами [3, 4]. Поток в Windows называется объектом ядра, которому операционная система выделяет процессорное время для выполнения приложения. Каждому потоку принадлежат следующие ресурсы: код исполняемой функции; набор регистров процессора; стек для работы приложения; стек для работы операционной системы; маркер доступа, который содержит информацию для системы безопасности. Все эти ресурсы образуют контекст потока в Windows. Кроме дескриптора каждый поток в Windows также имеет свой идентификатор, который уникален для потоков, выполняющихся в системе. Идентификаторы потоков используются служебными программами, которые позволяют пользователям системы отслеживать работу потоков. Одновременное или «конвейерно-параллельное» выполнение потоков подразумевает, что в том случае, если имеется всего один процессор с одним ядром, в один момент времени может выполняться только один поток. Однако операционная система может быстро переключать процессор с выполнения одного потока на другой и вследствие высокой частоты процессоров (обычно операционная система выделяет на обработку потока 0,6 нс) у пользователя возникает иллюзия одновременной работы нескольких программ. Такая ситуация называется псевдопараллельное или «конвейерно-параллельное» выполнение потоков (рис. 3) [5].

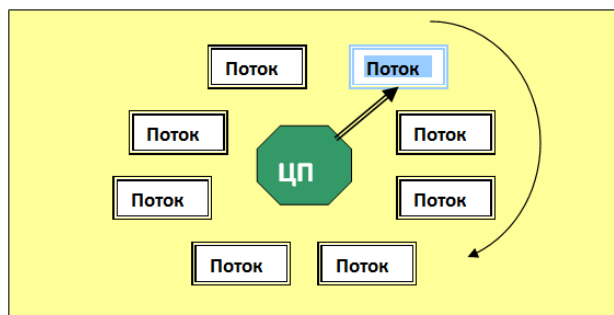


Рисунок 3 – Выделение операционной системой потокам кванты времени

Важным при работе процессора с потоками (процессами) является и возможность определения их приоритетов обрабатываемым процессором. Чем выше приоритет, тем больше времени выделяется на обработку данного потока. Рассмотрим возможность применения данной технологии для обработки данных тепловых пунктов.

Основными задачами тепловых пунктов являются [6]: преобразование вида теплоносителя; контроль и регулирование параметров теплоносителя; распределение теплоносителя по системам теплоснабжения; отключение систем теплоснабжения; защита систем теплоснабжения от аварийного повышения параметров теплоносителя; учет расходов теплоносителя и тепла. Очевидно, что при выполнении данных задач необходимо учитывать приоритет задачи и работать не с

одним тепловым пунктом, а с тем количеством тепловых пунктов, которые обслуживаются центральным тепловым пунктом. Это просто сделать, используя стандартные функции открытия процесса и потока с центральным процессором.

Рассмотрим предлагаемую методику обработки данных, поступающих с тепловых пунктов (рис. 4). Суть состоит в том, что для обслуживания каждого теплового пункта создаётся процесс, который состоит из 6 потоков. Каждый поток соответствует задаче, выполняемой в тепловом пункте. Так потоку №1 соответствует преобразование вида теплоносителя, потоку № 2 – контроль и регулирование параметров теплоносителя, потоку № 3 – распределение теплоносителя по системам теплоснабжения, потоку № 4 – отключение систем теплоснабжения, потоку № 5 – защита систем теплоснабжения от аварийного повышения параметров теплоносителя, потоку № 6 – учет расходов теплоносителя и тепла.

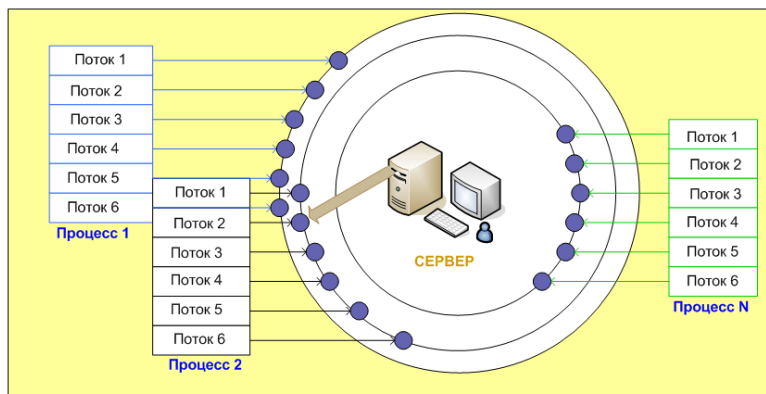


Рисунок 4 – Схема обслуживания процессов персональным компьютером

Для понимания работы персонального компьютера с тепловыми пунктами рассмотрим функцию создания потока в операционной системе Windows. Поток создается в результате вызова функции CreateThread:

```
CreateThread(
    NULL,          // default security attributes
    0,             // use default stack size
    ThreadFunc,    // thread function
    &dwThrdParam,  // argument to thread function
    0,             // use default creation flags
    &dwThreadId); // return the thread identifier
```

В предлагаемой технологии использования процессов и потоков для обработки данных тепловых пунктов параметр ThreadFunc отражает определённую выполняемую тепловым пунктом задачу.

Необходимо отметить возможность введения приоритетов при обработке данных, поступающих с тепловых пунктов. Это относится к созданию приоритета для определённого теплового пункта и приоритета задачи при обработке данных, поступающих с теплового пункта. Предложенная методика позволит обеспечить высокое быстродействие обработки данных тепловых пунктов, а также увеличить надёжность и безопасность за счёт введения приоритета выполнения потока.

Список литературы

1. Kung H.T. Why systolic architecture? // Computer. – 1982. – 15. № 1. – Pp. 37-46.
2. Молдован Д.И. О разработке алгоритмов для систолических матриц СБИС // ТИИЗР. – 1983. – Т. 71, № 1. – С. 140-149.
3. Побегайло А.П. Системное программирование в Windows. – СПб-Петербург, 2006. – 1056 с.
4. Тапенамбум Э. Современные операционные системы. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2007. – 1038 с.

5. Rybakova D., Sygynganova I., Kumargazhanova S., Baklanov A., Shvets O. Application of a CPU Streaming Technology to Work of the Computer with Data Coming from the Network on the Example of a Heating Station // 18th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – Erlagol, Russia, 2017. – Pp. 128-130.
6. Пырков В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование. – К.: ИДП «Такісправи», 2007. – 252 с.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 28.23.37

А.Ш. Балтабеков, А.Б. Нугуманова

Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ГЛУБОКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ СОЗДАНИЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В статье рассматривается система глубокого машинного обучения для генерации рекомендаций, а также реализованный программный проект – компьютерная модель рекомендательной системы Microsoft Azure Machine Learning Studio с использованием встроенных модулей.

Мақалда терең машиналық оқыту жүйесі ұсыныстар генерациясы үшін, сондай-ақ, іске асырылған бағдарламалық жоба-нұсқаулық жүйенің компьютерлік моделі Microsoft Azure Machine Learning Studio кірілістірген модульдердің қолдануымен қарастырылған.

The article discusses the deep machine learning system for generating recommendations, as well as the implemented software project - a computer model of the Microsoft Azure Machine Learning Studio recommendation system using built-in modules.

Ключевые слова: рекомендательная система, глубокое машинное обучение, нейронные сети, Microsoft Azure Machine Learning Studio.

На сегодняшний день искусственный интеллект считается важнейшей сферой ИТ-исследований и ведущим драйвером прорывного индустриального роста. Искусственный интеллект применяется в тех случаях, когда поставленная задача не имеет решения и затрагивает те виды человеческой деятельности, которые традиционно считаются интеллектуальными или творческими и могут быть воссозданы только с помощью специальных вычислительных технологий. Одной из таких технологий, направленной на решение задач в области распознавания образов, прогнозирования, оптимизации и т.д., является применение искусственных нейронных сетей. Данная технология набирает все большую популярность в настоящее время в связи с ростом вычислительных возможностей. Внедрение устройств, использующих нейронные сети, во все сферы жизнедеятельности – одна из основных задач на ближайшие несколько лет, потому данная тема в наше время очень актуальна. В данной статье рассмотрены особенности применения нейронных сетей и описаны дальнейшие перспективы возможного развития.

Нейронные сети и глубокое машинное обучение. Нейронная сеть – это последовательность нейронов, соединенных между собой синапсами. Синапс – это место контакта между двумя нейронами или между нейроном и получающей сигнал клеткой. Структура нейронных сетей пришла из биологии. Благодаря такой структуре, машина обретает способность анализировать и даже запоминать различную информацию. Нейронные сети способны не только анализировать информацию, но также воспроизводить её из своей памяти. Таким образом, нейронная сеть – это машинная интерпретация мозга человека, в котором находятся миллионы нейронов, передающих информацию в виде электрических импульсов [1].

Чтобы разобраться, как работают нейронные сети, необходимо понять составляющие нейронной сети и ее параметры. Основной составляющей нейронной сети является нейрон. Нейрон – это вычислительная единица, которая получает информацию, производит над ней вычисления и передает её дальше [2].

Нейронные сети представляют собой систему соединенных и взаимодействующих между собой простых процессов. Каждый процесс подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам. С точки зрения машинного обучения нейронная сеть представляет собой частный случай методов распознавания образов, дискриминантного анализа, методов кластеризации и т.д.

Машинное обучение является одним из направлений искусственного интеллекта. Основным принципом заключается в том, что машины получают данные и «обучаются» на них. В настоящее время это наиболее перспективный инструмент для бизнеса, основанный на искусственном интеллекте. Системы машинного обучения позволяют быстро применять знания, полученные при обучении на больших наборах данных, что позволяет им преуспевать в таких задачах, как распознавание лиц, распознавание речи, распознавание объектов, перевод, и многих других. В отличие от программ с закодированными вручную инструкциями для выполнения конкретных задач, машинное обучение позволяет системе научиться самостоятельно распознавать шаблоны и делать прогнозы.

Глубокое обучение является подмножеством машинного обучения. Оно использует некоторые методы машинного обучения для решения реальных задач, используя нейронные сети, которые могут имитировать человеческое принятие решений.

Применение нейронных сетей. Нейронные сети используются для решения сложных задач, которые требуют аналитических вычислений подобных тем, что делает человеческий мозг. Самыми распространенными применениями нейронных сетей являются:

- Классификация – распределение данных по параметрам. Например, на вход дается набор людей и нужно решить кого из данных людей выбрать, а кого нет. Очень популярно в банковской сфере для оценки кредитоспособности клиентов на основе данных об их доходе, семейном положении, возрасте и т.д.
- Предсказание – возможность предсказывать следующий шаг. Например, рост или падение акций, исходя из данных на биржевом рынке.
- Распознавание. В настоящее время это направление имеет самое широкое применение в нейронных сетях. Классический пример такого применения – распознавание лиц. Данная технология используется в любых системах, где требуется идентификация человека, в пропускных и контролируемых системах.
- Генерирование – создание, получение или образование образов. Под образом подразумевается текст, рисунок, звук.
- Рекомендация – предложение данных по параметрам. Например, пользователю, исходя из его индивидуальных предпочтений, предлагается выбор того или иного продукта или услуги. Классический пример: на основе пользовательского плейлиста или списка просмотренных фильмов ему предлагается музыка или фильм, которые могут его заинтересовать.

Остановимся подробнее на распознавании образов. Теория распознавания образов – раздел информатики, развивающий основы и методы классификации и идентификации предметов, явлений, процессов, сигналов, ситуаций и т.п. объектов, которые характеризуются конечным набором некоторых свойств и признаков. Такие задачи решаются довольно часто, например, при переходе или проезде улицы по сигналу светофора. Распознавание цвета загоревшейся лампы светофора и знание правил дорожного движения позволяют принять правильное решение о том, можно или нельзя переходить дорогу. Необходимость такого распознавания возникает в самых разных областях – от военного дела и систем безопасности до оцифровки аналоговых сигналов [3].

Для оптического распознавания образов можно применить метод перебора вида объекта под различными углами, масштабами, смещениями и т.д. Для букв нужно перебирать шрифт, свойства шрифта и т.д. Второй подход – нахождение контура объекта и исследование его свойств (связность, наличие углов и т.д.). Существует множество примеров задач распознавания образов:

- оптическое распознавание символов;
- распознавание штрих-кодов;
- распознавание автомобильных номеров;
- распознавание лиц, речи, изображений;

- распознавание локальных участков земной коры, в которых находятся месторождения полезных ископаемых;
- классификация документов.

Технология распознавания лиц с использованием нейронной сети также нашла своё применение в разработке мобильного программного обеспечения. Компания Apple представила технологию Face ID, позволяющую пользователю разблокировать свой девайс с помощью лица: благодаря специальному алгоритму, основанному на нейронной сети, устройство составляет 3D модель лица пользователя и затем сравнивает его при следующей разблокировке. Кроме того, продукция Apple использует несколько моделей глубокого обучения на своих устройствах: распознавание лиц на фото, фразы «Привет, Siri» и рукописные китайские иероглифы. Но все эти модели ничему не учатся от пользователя. Разработчики сервиса OpenFace утверждают, что точность распознавания лиц можно повысить.

Частота применения технологии искусственных нейронных сетей в различных сферах жизни общества и в науке, несомненно, растет. Об этом свидетельствуют те новшества, которые постоянно внедряются в быт людей. Технологии с применением нейронных сетей активно используются в области информационных технологий. Наиболее часто встречающееся применение – голосовой поиск от компании Google на портативных устройствах и персональных компьютерах, преобразующий речь в текст за считанные секунды, используя специальные алгоритмы, основанные на глубоких нейронных сетях [4-5].

Рекомендательные системы, основанные на нейронных сетях. В данной работе нас интересует генерирование рекомендаций с помощью нейронных сетей. Способности нейронной сети к рекомендации напрямую следуют из её способности к обобщению и выделению скрытых зависимостей между входными и выходными данными. После обучения система способна порекомендовать данные, на основе ваших уже имеющихся данных и каких-то существующих в настоящий момент факторов.

В качестве примера использования нейронных сетей и глубокого машинного обучения был произведен тестовый вариант рекомендательной системы через Microsoft Azure Machine Learning Studio. Экспериментом послужил интерес пятерых людей в просмотре фильмов разных жанров и названий фильмов по этим жанрам, а также оценка указанных, просмотренных фильмов по шкале от 1 до 5. С помощью модулей, имеющихся в Microsoft Azure Machine Learning Studio: Train Matchbox Recommender и Score Matchbox Recommender, создается модель рекомендательной системы (рис. 1).

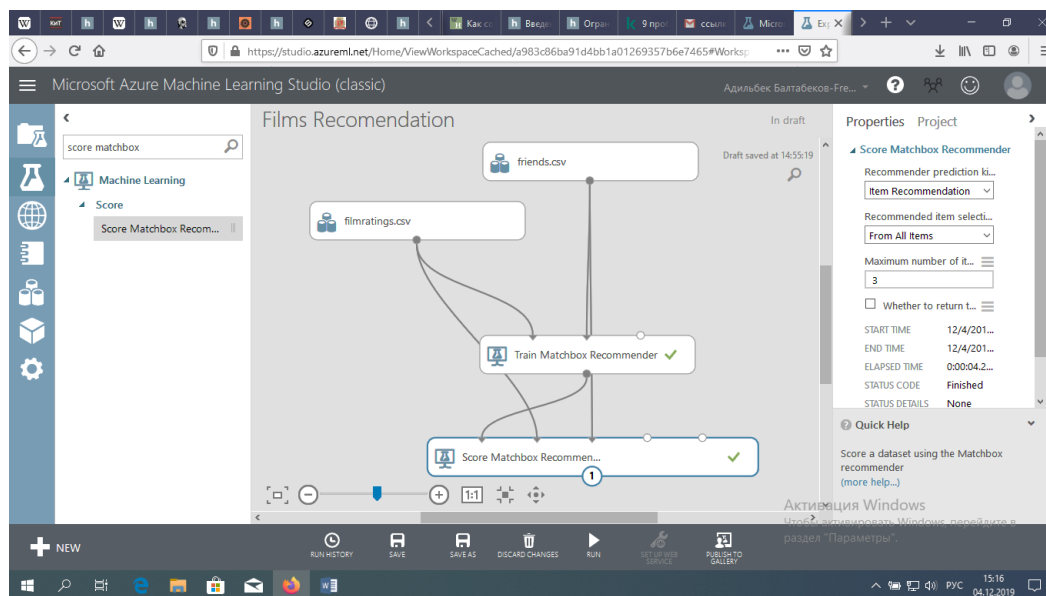


Рисунок 1 – Модель рекомендательной системы

После запуска модуля Score Matchbox Recommender система анализирует предпочтения лиц и создается таблица с рекомендациями для них (рис. 2).

Исходя из вышеуказанной рекомендации следует, что система рекомендует для пользователя «Adil» такой фильм, как «Reincarnation» в первую очередь, не смотря на то, что этот фильм был уже просмотрен данным пользователем, поскольку в настройках рекомендации было указано «From all items». Затем стоит фильм «The_Spell» и на третьем месте – «Champions».

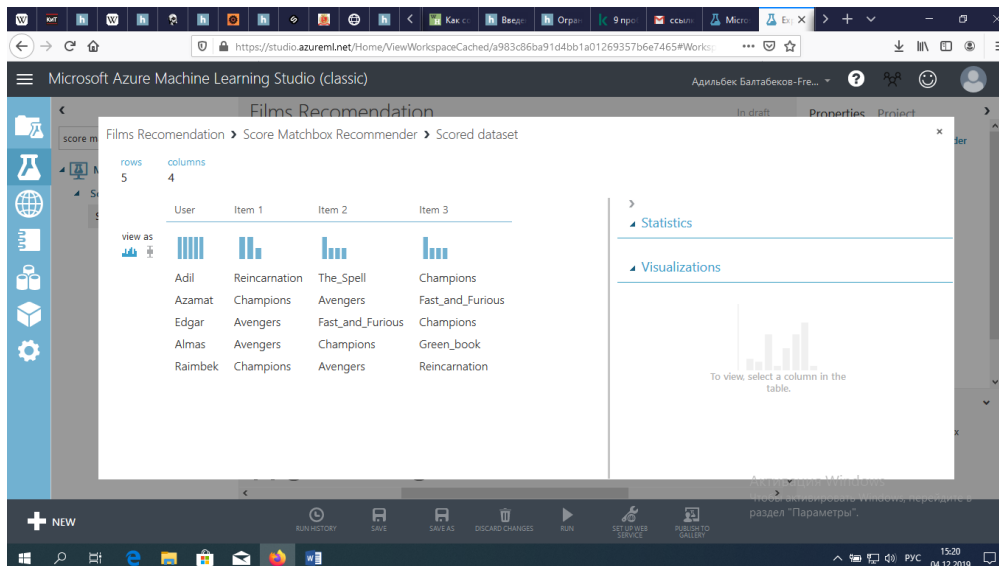


Рисунок 2 – Результат тестовых рекомендаций

Как видно, нейронные сети имеют большие перспективы в будущем. Их применение практически безгранично, будь то распознавание образов и прогнозирование или же анализ данных и постановка точных диагнозов. Поскольку экономические, финансовые и социальные системы очень сложны и являются результатом действий и противодействий различных людей, то является очень сложным создать полную математическую модель с учетом всех возможных действий и противодействий. Нейронные же сети, способные обучаться на основе вложенных в них данных и результатов прошлых действий, могут решать задачи подобного рода сложности [6].

В ходе выполнения работы было рассмотрено глубокое обучение в различных применениях. Результатом работы является разработанная модель рекомендательной системы с применением Microsoft Azure Machine Learning Studio и её модулями. Полученный результат показал возможность использования выделяемых параметров набора данных для рекомендательной системы.

Список литературы

1. Барский А.Б. Введение в нейронные сети // Финансы и статистика. – 2004. – 176 с.
2. Habr.com [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/post/312450/> / (дата обращения 24.11.2019).
3. Масалович. А. Нейронная сеть – оружие финансиста / А. Масалович [Электронный ресурс]. – URL: http://www.computer-museum.ru/histussr/neiro_net.htm (дата обращения 24.11.2019).
4. Scienceforum.ru [Электронный ресурс] – URL: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018017318> (дата обращения 24.11.2019).
5. Джеффри Е. Хинтон. Как обучаются нейронные сети // В мире науки. – 2012. – 107 с.
6. Малыгина Ю.П. Нейронные сети: особенности, тенденции, перспективы развития // Молодой исследователь Дона / Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону, Российская Федерация. – № 5(14). – 2018. – 4 с.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 58.33.27

В.А. Витюк¹, Г.А. Витюк^{1,2}¹Национальный ядерный центр Республики Казахстан, г. Курчатов²Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск**ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООТВОДА ОТ МОДЕЛЬНЫХ ТВС
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ В РЕАКТОРЕ ИГР**

В статье представлены основные подходы к определению количественных значений утечек тепла от модельных тепловыделяющих сборок (ТВС) в процессе их испытаний в исследовательском импульсном графитовом реакторе. Данный параметр является важным при использовании тепловых балансовых методов для определения реализованных энергетических параметров модельных ТВС в реакторных пусках. Рассмотрены общие случаи определения утечек тепла, представлен соответствующий математический аппарат, позволяющий выполнять оценку параметров теплообмена ТВС с окружающими конструкциями и средами. Акцент сделан на особенности учета конвективного теплообмена, являющегося основным для большого класса экспериментов в импульсном графитовом реакторе (ИГР), с учетом применяемых конструкций экспериментальных устройств и режимов их испытаний.

Мақалада зерттеу импульстік графиттік реакторында оларды сынау процессінде модельдік жылу бөлетін құрастырудан (ЖБҚ) жылу ағуының сандық мағыналарын анықтауға негізгі тәсілдері анықталды. Осы параметр реакторлық іске қосуларда модельдік ЖБҚ іске асырылған энергетикалық параметрларын анықтау үшін жылу баланстық әдістерін пайдалану кезінде маңызды болып табылады. Жылу ағуының жалпы жағдайлары қарастырылды, қоршаған конструкциялары және орталары бар ЖБҚ жылу алмасу процесстеріне бағалауды орындауға мүмкіндік беретін сәйкес математикалық аппарат ұсынылған. Қолданылатын эксперименттік құрылғылардың конструкцияларын және оларды сынау режимдерін есепке ала, импульстік графиттік реакторда (ИГР) эксперименттердің үлкен классы үшін негізгі болып табылатын конвективтік жылу алмасуды есепке алу ерекшеліктеріне екіпін жасалған.

The article addresses main approaches for identifying parameters of quantitative values of heat removal from Fuel Assemblies (FA) in the course of the experiments being realized in the impulse graphite research reactor. This is a critical parameter when application of thermal balance techniques to identify realized power parameters of model FA in reactor launches. The authors consider general cases indicating heat leakage and demonstrate relevant mathematical tools for assessment parameters of FA heat exchange with environmental mediums and structures. The article focuses on the features of account of convective heat transfer that is the basis for most experiments being realized in the Impulse Graphite Reactor (IGR) in view of applicable design of experimental devices and their testing modes.

Ключевые слова: тепловыделяющая сборка (ТВС), эксперимент, импульсный графитовый реактор (ИГР), утечки тепла.

Введение. В практике внутриреакторных экспериментов, в том числе экспериментов на импульсном графитовом реакторе Национального ядерного центра Республики Казахстан, для определения энергетических параметров испытаний модельных ТВЭЛов и ТВС используются тепловые балансовые методы [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Точность применения таких методов зависит, в том числе, и от достоверности определения утечек тепла от ТВС в процессе эксперимента, которые должны быть учтены при решении уравнений теплового баланса для объекта испытаний. Кроме того, определение величины утечек тепла важно при проведении испытаний по определению пороговых нагрузок в ТВЭЛх при экспериментальном моделировании переходных процессов. Количество тепла, переданное от ТВС окружающим конструкциям и теплоносителю, определяется на основании измерения температуры конструкций и расхода теплоносителя (в случае наличия принудительного охлаждения) [1, 2, 3].

Утечки тепла в каждом конкретном случае определяются с учетом специфических конструктивных особенностей ТВС. Фактически речь идет о теплосъеме с поверхности ТВС, величина которого зависит от ряда факторов: конструкции объекта испытаний, режимов охлаждения ТВС, набора используемых материалов и теплоносителей, и должна определяться с учетом этих особенностей. Расчет теплосъема может быть выполнен с использованием специализированных расчет-

ных кодов, однако любой расчет требует экспериментального подтверждения, другими словами, модель должна быть верифицирована. С этой целью используются результаты оценок, выполненных по фактическим экспериментальным данным, полученным в результате измерения параметров реального объекта испытаний, например, в методических экспериментах. Для этого применяется адаптированный под конкретные условия тепловых процессов в объекте испытаний математический аппарат.

В статье представлены общие теоретические подходы к определению параметров теплообмена испытываемых ТВС с окружающими материалами, позволяющие оценить количество теплоты, отведенной от ТВС, и учесть величину утечек тепла при определении мощности и энерговыделения в топливе объекта испытаний в процессе реакторного эксперимента. Некоторые допущения приняты с учетом применимости к методическим пускам на реакторе ИГР, характеризующимся относительно небольшим (без достижения расплавления) разогревом материалов ТВС. По результатам таких пусков осуществляется подбор диаграммы мощности реактора ИГР для реализации полномасштабных экспериментов, в ходе которых обеспечивается моделирование различных стадий развития тяжелой аварии с плавлением активной зоны.

1. Унифицированные подходы к определению утечек тепла за счет теплопроводности и теплового излучения. В общем случае перенос тепла от ТВС характеризуется всеми тремя способами теплообмена:

- теплопроводность;
- теплоотдача излучением;
- конвективная теплоотдача.

В каждом конкретном случае вклад того или иного способа теплопередачи в общие утечки будет различным. Тем не менее, расчет параметров теплообмена ТВС с окружающими материалами за счет теплопроводности и теплового излучения может быть выполнен стандартными формулами с учетом конструктивных особенностей рассматриваемой ТВС и окружающих конструкций, которые в подавляющем большинстве экспериментальных устройств для ИГР представляют собой набор цилиндрических обечаек.

1.1 Теплопередача теплопроводностью. Уравнение теплопроводности для установившегося теплового потока через однослойную плоскую стенку [1]:

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{t_g - t_x}{r} = \frac{\lambda}{\delta} (t_g - t_x), \quad (1)$$

где: q – удельный тепловой поток (удельная тепловая нагрузка), Вт/м²; Q – тепловой поток (расход теплоты), Вт; F – площадь поверхности стенки, м²; t_g и t_x – температуры горячей и холодной поверхности стенки, К; $r = \delta/\lambda$ – термическое сопротивление стенки, (м²К)/Вт; δ – толщина стенки, м; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Уравнение теплопроводности для установившегося теплового потока через многослойную плоскую стенку:

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{t_g - t_x}{\sum r} = \frac{t_g - t_x}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots} \quad (2)$$

Для цилиндрической однослойной стенки средняя площадь поверхности определяется по формуле:

$$F_{cp} = \pi d_{cp} L = \frac{\pi (d_2 - d_1) L}{\ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (3)$$

где: d_1 и d_2 – внутренний и наружный диаметры; L – длина цилиндра, м.

Уравнение теплопроводности для установившегося теплового потока через однослойную цилиндрическую стенку:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_z - t_x) F_{cp} = \frac{2\pi\lambda(t_z - t_x)L}{\ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (4)$$

Здесь $\delta = (d_2 - d_1)/2$.

Если $d_2/d_1 < 2$, то вместо вычисления по формуле (3) можно с достаточной точностью принять для средней площади поверхности однослойной цилиндрической стенки величину

$$F_{cp} = \frac{\pi(d_1 + d_2)L}{2}. \quad (5)$$

Уравнение теплопроводности для установившегося теплового потока через многослойную цилиндрическую стенку:

$$Q = \frac{2\pi L(t_z - t_x)}{\sum \frac{1}{\lambda} \ln \frac{d_n}{d_{n-1}}} = \frac{2\pi L(t_z - t_x)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \dots}. \quad (6)$$

Здесь d_n и d_{n-1} – внутренний и наружный диаметры каждого цилиндрического слоя.

Теплопередача теплопроводностью характерна для испытаний модельных ТВС, в которых обеспечивается непосредственный контакт топливных элементов с окружающими конструкциями, например в так называемых блочных ТВС, где топливные таблетки загружаются в отверстия, выполненные в стальных блоках. Такие ТВС использовались в экспериментах в ИГР по исследованию параметров теплообмена между расплавом стали, содержащим нерасплавленные топливные таблетки, и стальной стенкой, охлаждаемой натрием [1].

1.2 Теплоотдача при тепловом излучении твердых тел. Количество теплоты, переходящей от более нагретого тела к менее нагретому посредством лучеиспускания, определяется по уравнению [1]:

$$Q_l = C_{1-2} \varphi F \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (7)$$

где: Q_l – количество теплоты, передаваемой лучеиспусканием в единицу времени, Вт; F – площадь поверхности излучения, m^2 ; C_{1-2} – коэффициент излучения, $Вт/(m^2 \cdot K^4)$; T_1 – температура поверхности более нагретого тела, К; T_2 – температура поверхности менее нагретого тела, К; φ – угловой коэффициент, безразмерный.

Коэффициент излучения C_{1-2} зависит от взаимного расположения и степени черноты ε излучающих поверхностей, имеющих температуры T_1 и T_2 .

Если одно тело, площадь поверхности излучения которого равна F_1 , расположено внутри другого тела с площадью поверхности излучения F_2 , то $F = F_1$, угловой коэффициент $\varphi = 1$ и

$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_4} \right)}, \quad (8)$$

где: $C_1 = \varepsilon_1 C_4$ – коэффициент лучеиспускания меньшего тела; $C_2 = \varepsilon_2 C_4$ – коэффициент лучеиспускания большего (охватывающего) тела; $C_4 = 5,7 \text{ Вт}/(m^2 \cdot K^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела; ε_1 и ε_2 – степени черноты поверхности меньшего и большего тела, $\varepsilon = 0,85$ (для нержавеющей стали).

Данные общие зависимости для расчета параметров теплового излучения могут быть практически напрямую использованы для режимов, характерных для кратковременных импульсных испытаний с резким увеличением мощности и существенным разогревом самой ТВС, дистанционированной от окружающих конструкций неподвижным газовым зазором, или выполняемых в вакууме. В этом случае теплосъем с ТВС будет характеризоваться в основном, тепловым излучением.

2. Особенности учета конвективного теплообмена ТВС с окружающими материалами. Методические исследования с экспериментальными устройствами, в процессе которых определяются

мощность и энерговыделение в ТВС и их связь с параметрами реактора ИГР, проводятся, как правило, на режимах, при которых максимальная температура самих теплонапряженных элементов экспериментальных устройств (ТВЭЛов) не превышает 1000 К, а размещение модельных ТВС в экспериментальных устройствах выполняется таким образом, что практически всегда существует зазор между ТВС и элементами конструкции устройства.

При таких условиях испытаний процесс теплообмена между ТВС и окружающими конструкциями экспериментального устройства характеризуется в основном конвективным теплообменом: свободным, в случае отсутствия расхода рабочего тела – газа или жидкости, или вынужденным, в случае наличия расхода рабочего тела.

В связи с этим для корректного определения величины утечек тепла от ТВС рассмотрим способы определения параметров конвективного теплообмена для следующих случаев:

- нагрев ТВС с принудительным охлаждением;
- нагрев ТВС без принудительного охлаждения;
- охлаждение ТВС.

2.1 Нагрев ТВС с принудительным охлаждением. Для расчета количества тепла, переданного ТВС за счет конвективного теплообмена в конструкционные материалы экспериментального устройства при принудительном охлаждении теплоносителем (газом или жидкостью), требуется предварительный расчет нестационарного температурного поля, которое устанавливается в ТВэле при реализации заданного профиля мощности.

Количество тепла, переданное ТВЭлом конвективным теплообменом, может быть определено по формуле:

$$Q_c = \alpha \cdot F \cdot \int_0^{\tau} (\bar{T}_{обол}(\tau) - \bar{T}_f) d\tau, \quad (9)$$

где: α – коэффициент теплоотдачи от ТВЭла к теплоносителю, Вт/(м²·К); F – площадь поверхности теплообмена, м²; $\bar{T}_{обол}$ – средняя температура поверхности теплообмена, К; \bar{T}_f – среднемассовая температура теплоносителя, К; τ – рассматриваемый интервал времени, с.

2.2 Нагрев ТВС без принудительного охлаждения. В условиях ограниченного замкнутого пространства и наличия восходящих и нисходящих потоков в экспериментальной секции, в отличие от процесса свободной конвекции, условия циркуляции воздушных потоков усложняются, и для облегчения расчета такой сложный процесс конвективного теплообмена принято рассматривать как элементарное явление теплопроводности, вводя при этом понятие эквивалентного коэффициента теплопроводности $\lambda_{эк}$ [1].

Если значение последнего разделить на коэффициент теплопроводности λ среды, то получим безразмерную величину $\varepsilon_k = \lambda_{эк}/\lambda$, которая характеризует собой влияние конвекции и называется коэффициентом конвекции.

Так как циркуляция обусловлена разностью плотностей нагретых и холодных частиц и определяется произведением критериев подобия Грасгофа (мера отношения подъемной силы, возникающей из-за разницы плотностей при разных температурах, и сил вязкости) и Прандтля (мера подобию температурных и скоростных полей), то и ε_k должно быть функцией того же аргумента, т.е.

$$\varepsilon_{эк} = f(Gr_{ж} Pr_{ж}). \quad (10)$$

При вычислении критериев подобия Грасгофа и Прандтля, независимо от формы прослойки, за определяющий размер принимается ее толщина δ , а за определяющую температуру – средняя температура среды.

$$t_{жс} = 0,5 \cdot (t_{c1} + t_{c2}), \quad (11)$$

где: t_{c1} – температура поверхности ТВЭла; t_{c2} – температура холодной стенки.

При малых значениях аргумента $Gr_{ж} Pr_{ж} < 1000$ значение функции $\varepsilon_{эк} = 1$. Это означает, что при малых значениях $Gr_{ж} Pr_{ж}$ перенос теплоты от горячей стенки к холодной через прослойки обуславливается только теплопроводностью среды.

При значении $10^3 < Gr_{жс} Pr_{жс} < 10^6$

$$\varepsilon_{жс} = 0,105 \cdot (Gr_{жс} Pr_{жс})^{0,3} \quad (12)$$

и при $10^6 < Gr_{жс} Pr_{жс} < 10^{10}$

$$\varepsilon_{жс} = 0,4 \cdot (Gr_{жс} Pr_{жс})^{0,2}. \quad (13)$$

Критерий $Gr_{жс}$ определяется из выражения:

$$Gr_{жс} = \frac{g \delta^3 \beta \Delta t}{\nu^2}, \quad (14)$$

где: g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; δ – определяющий линейный размер поверхности теплообмена, м; Δt – разность температур поверхности теплообмена и теплоносителя, $\Delta t = t_{c1} - t_{c2}$, К; ν – коэффициент кинематической вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$; β – температурный коэффициент объёмного расширения теплоносителя, для газов $\beta = \frac{1}{273 + t_{c2}}$, К^{-1} .

Тогда количество тепла, переданного от ТВС к холодной стенке за время τ , определяется как

$$Q_{ym}^{акт} = \frac{\lambda_{жс}}{\delta} \Delta t \cdot S \cdot \tau, \quad (15)$$

где S – площадь поверхности теплообмена между ТВС и холодной стенкой, м^2 .

2.3 Охлаждение ТВС. Рассмотрим процесс охлаждения ТВС в полости экспериментального устройства после реализации диаграммы энерговыделения в топливе.

Допустим, что температура окружающей среды $t_{ж}$ и коэффициент теплоотдачи α остаются постоянными. При этих условиях нестационарный процесс охлаждения ТВС может быть разделен на две стадии: начальную стадию и стадию регулярного режима [1]. Первая стадия характеризуется тем, что изменение температурного поля во времени существенно зависит от особенностей начального теплового состояния ТВС. Однако постепенно влияние начальных условий все более и более утрачивается; напротив, воздействие условий охлаждения и физических свойств ТВС становится определяющим. Наступает регулярный тепловой режим. При этом закон изменения температурного поля во времени принимает простой и универсальный вид: логарифм избыточной температуры тела в любой его точке изменяется во времени по линейному закону

$$\ln \vartheta = -m\tau + C. \quad (16)$$

Избыточной температурой ϑ называют модулем разности между температурой тела t и температурой окружающей среды $t_{ж}$: $\vartheta = |t - t_{ж}|$. Т.е. эта температура убывает во времени по экспоненциальному закону

$$\vartheta = C e^{-m\tau}. \quad (17)$$

Величина m , $1/\text{с}$, есть положительное число, не зависящее от координат и времени. Эта величина характеризует интенсивность охлаждения ТВС и называется темпом охлаждения.

Графическая интерпретация рассматриваемого процесса показана на рис. 1; здесь приведены кривые изменения величин $\ln \vartheta_1$ и $\ln \vartheta_2$ для двух фиксированных точек ТВС во времени на протяжении всего процесса охлаждения.

Наступление регулярного режима характеризуется тем, что соответствующие кривые переходят в прямые линии, имеющие одинаковый угловой коэффициент на графике, т.е. они оказываются параллельными между собой.

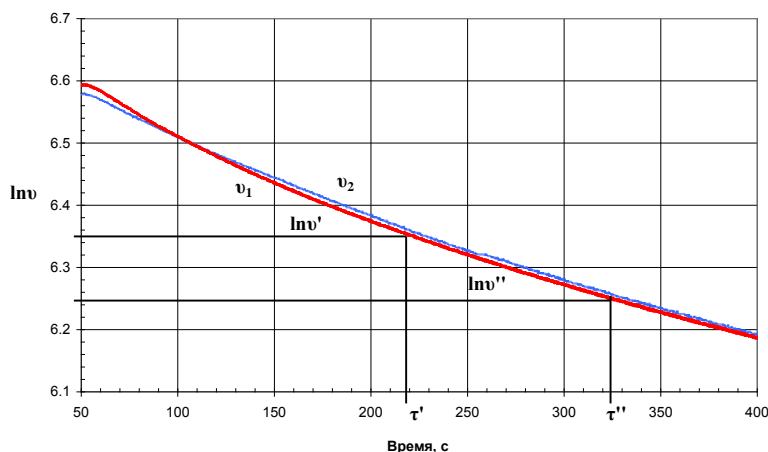


Рисунок 1 – Изменение логарифма избыточной температуры во времени при охлаждении ТВС

Применяя уравнение (16) к двум произвольным моментам времени τ' и τ'' и исключив постоянную C , получим:

$$m = \frac{\ln \vartheta' - \ln \vartheta''}{\tau'' - \tau'} . \quad (18)$$

Формула (18) дает способ определения величины темпа охлаждения m из опыта. Для этого необходимо измеренные на поверхности ТВС температуры $\vartheta = f(\tau)$ представить в полулогарифмических координатах, на прямолинейном участке полученной зависимости выбрать две точки и соответствующие им величины $\ln \vartheta$ и τ и подставить в формулу (18).

В теории регулярного теплового режима существует положение о том, что темп охлаждения тела m при конечном значении коэффициента теплоотдачи пропорционален коэффициенту теплоотдачи α и внешней поверхности тела F и обратно пропорционален полной теплоемкости $C_v = C_p \rho V$:

$$m = \psi \frac{\alpha F}{C_v} , \quad (19)$$

где: ψ – не зависящая от времени в течение всего процесса охлаждения величина, являющаяся численной характеристикой того, насколько неравномерно поле температур в теле:

$$\psi = \frac{\iint \vartheta_s dS}{\iiint \vartheta dV} \cdot \frac{V}{S} , \quad (20)$$

где ϑ_s – температура в какой либо точке поверхности S ТВС, К; ϑ – средняя объемная температура ТВС, К; V – объем ТВС, м³.

Если распределение температур равномерно, то $\psi = 1$.

Из выражения (19) экспериментальным путем может быть определен коэффициент теплоотдачи для ТВС:

$$\alpha = \frac{m C_p \rho V}{\psi F} . \quad (21)$$

Тогда количество тепла, переданного от ТВС холодной стенке за время τ , может быть определено из выражения (9).

Заключение. Определение утечек тепла от ТВС в процессе проведения внутриреакторных экспериментов является достаточно сложной задачей. Для корректного определения величины утечек тепла необходимо учитывать как размерно-материальный состав экспериментального устройства, так и режимы испытаний ТВС, в зависимости от которых до проведения расчета должен быть оценен вклад каждого способа теплообмена (теплопроводность, излучение, конвекция) в общий процесс теплопередачи от ТВС к окружающим конструкционным элементам.

Наиболее востребованным с точки зрения расчета энергетических параметров ТВС с учетом режимов их испытаний и наиболее часто используемых конструкций экспериментальных устройств при проведении методических экспериментов в ИГР является определение параметров конвективного теплообмена ТВС с окружающими материалами. Представленные подходы и математический аппарат позволяют провести теоретическую оценку утечек тепла и выполнить важные с точки зрения определения энергетических параметров ТВС расчеты, верифицировать расчетные модели, что в целом положительно сказывается на качестве подготовки и проведении реакторных экспериментов.

Данная работа выполнена в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» республиканской бюджетной программы «Развитие атомных и энергетических проектов» при поддержке Министерства энергетики Республики Казахстан.

Список литературы

1. Витюк В.А., Вурим А.Д., Витюк Г.А. Практические способы определения энергетических параметров реакторных испытаний в режиме импульсного изменения мощности // Вестник НЯЦ РК. – 2020. – Вып. 2.. – С. 80-86.
2. L. Vermeeren and J. Dekeyser. Fuel Irradiation Testing Technology at SCK·SEN: Experience and Developments // Post-Irradiation Examination and In-pile Measurement Techniques for Water Reactor Fuels. Vienna, 2009.- IAEA-TECDOC-CD-1635. – P. 181-195.
3. Vladimir Vityuk, Alexander Vurim. Method for determining the energy parameters in pulse reactor experiments // Annals of Nuclear Energy. – Vol. 127, May 2019. – P. 196-203.
4. V.A. Vityuk, A.D. Vurim, V.M. Kotov, and A.V. Pakhnits. Determination of the parameters for fuel assembly tests in a pulsed graphite reactor // Atomic Energy. – Vol. 120. – № 5, September, 2016. – P. 323-327, DOI:10.1007/s10512-016-0138-3.
5. Витюк В.А., Вурим А.Д. Методика определения энергетических параметров внутриреакторных импульсных экспериментов // Вестник НЯЦ РК. – 2016. – Вып. 1. – С. 42-46.
6. Теплофизический метод определения энергетических параметров модельных тепловыделяющих сборок в импульсных испытаниях на импульсном графитовом реакторе / В.А. Витюк [и др.] // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ] / Томский политехнический университет (ТПУ). – 2013. – Т. 323, № 2: Математика и механика. Физика. – С. 168-173.
7. M. Verwerft [et al.], OMICO : Final Report of 5th EURATOM Framework Programme Contract / Belgian Nuclear Research Centre. – Mol, Belgium, 2007. – FIKSCT-2001-00141.
8. Bailly, J [et al.], Presentation of the SCARABEE programme: Presentation / Safety Working Group of the Coordinating Committee for Fast Reactors. – Brussels, 1973.
9. Ижутов А.Л. Разработка и усовершенствование методик определения тепловой мощности и выгорания топлива в исследовательском реакторе МИР.М1: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.14.03 / Ижутов Алексей Леонидович. – Димитровград, 2008. – 25 с.
10. Кириллов П.Л. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) / П.Л. Кириллов, Ю.С. Юрьев, В.П. Бобков – М: Энергоатомиздат, 1984. – 296 с.
11. Витюк Г.А., Витюк В.А., Скаков М.К. Исследование теплопередачи от расплава стали к конструкционным материалам активной зоны реактора на быстрых нейтронах / Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов XXV Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Москва, 14-15 марта 2019. – С. 733.
12. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Справочник Пер. с англ. – М: Атомиздат, 1979. – 216 с.
13. Михеев, М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – Изд. 2-е стереотип. – М: «Энергия», 1977. – 344 с.

14. Кондратьев Г.М., Регулярный тепловой режим // Государственное издательство технико-теоретической литературы. – Москва, 1954. – 408 с.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 20.15.00

Н.Ф. Денисова, С.К. Кумаргажанова, С.С. Смаилова, Е.М. Федькин

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ НАБОРА ТРЕБОВАНИЙ К АППАРАТНОМУ И ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ СЕРВИСОВ LMS УНИВЕРСИТЕТА

В статье проведен сравнительный анализ LMS-платформ, определены основные характеристики для оценки таких систем. В результате анализа показателей оценки аппаратного и программного обеспечения LMS разработана модель оценивания, основанная на применении аппарата нечеткой логики.

Мақалада LMS платформаларына салыстырмалы талдау жасалды және мұндай жүйелерді бағалаудың негізгі сипаттамалары анықталды. LMS аппараттық және бағдарламалық қамтамасыз етуді бағалау көрсеткіштерін талдау нәтижесінде айқын емес логика аппаратын қолдануға негізделген бағалау моделі жасалды.

The article provides a comparative analysis of LMS platforms, identifies the main characteristics for evaluating such systems. As a result of the analysis of the LMS hardware and software assessment indicators, an assessment model was developed based on fuzzy logic theory.

Ключевые слова: Learning management system (LMS), нечеткая продукционная модель, SCORM

Внедрение новых образовательных и информационных технологий в учебный процесс и формирование единого образовательного пространства в настоящее время являются доминирующими тенденциями, определяющими развитие системы образования. В условиях пандемии, всеобщего внепланового и одномоментного перехода на дистанционные технологии в сфере обучения и трудовой деятельности вузов, полностью обнажились проблемы гетерогенности информационных систем, отсутствия универсальных решений и межсистемного взаимодействия. Таким образом, актуальной задачей становится разработка научно-методических основ внедрения современных информационно-инновационных технологий в образовательную систему, которая включает в себя: стандартизированные механизмы, инструменты, методы и алгоритмы взаимодействия LMS университета с внешними сервисами, платформами и системами разного уровня.

На сегодняшний день существует множество методологий для оценки качества электронного обучения в научной литературе. Однако нет подробных исследований современных платформ LMS.

За последние несколько лет наиболее интересный подход к разработке программного обеспечения был основан на пользовательских предпочтениях и опыте, так называемый дизайн, ориентированный на пользователя [1, 2]. Этот метод набирает все большую популярность среди разработчиков программного обеспечения, в том числе предназначенного для обучения [3].

Недавно появился новый вид системы электронного обучения, основанный на автоматическом распознавании и прогнозировании пользовательских предпочтений и самоадаптации к требованиям пользователя. Этот тип системы называется адаптирующимся управлением обучением.

Для сравнительного анализа LMS платформ следует определить основные характеристики для оценки таких систем (табл. 1.).

Раздел «Средства обучения» подразумевает функции электронного обучения, обеспечивающие взаимодействие обучающихся с преподавателем, а также инструменты для самостоятельного изучения материала.

Раздел «Инструменты поддержки» объединяет ресурсы платформы, предназначенные для разработки, администрирования разрабатываемых курсов.

Таблица 1

Критерии оценки LMS-платформ

Средства обучения	<ul style="list-style-type: none"> – Соответствие SCORM (код L1); – лекции в виде веб-страниц, документов, презентаций; видео и т.д. (код L2); – примеры и задачи, такие как веб-страницы, документы, презентации, видео и т.д. (код L3); – задания и упражнения в виде веб-страниц, документов, викторин (код L4); – геймификация (код L5); – оценивание (код L6).
Инструменты коммуникаций	<ul style="list-style-type: none"> – Чат (код C1); – форумы (код C2); – электронные сообщения (код C3).
Поддержка производительности	<ul style="list-style-type: none"> – Загрузка / скачивание различных типов документов (код T1); – добавлять, редактировать, удалять данные для студентов (код T2); – анализ достижений и результатов студентов (код T3); – поддержка нескольких платформ (код T4); – безопасность и защита данных пользователей (код T5); – создание резервной копии данных (код T6); – необходимость в системном администраторе, способном управлять всеми ролями пользователей в LMS (код T7); – веб-технологии разработки программного обеспечения (код T8); – необходимость установки (код T9); – самостоятельная регистрация (код T10).

По последним данным, в мире разработано несколько сот платных и свободно распространяемых платформ электронного обучения, среди которых наиболее популярными являются: Blackboard, Moodle, Sakai, Canvas, Open EdX, «Ё-Стади», Dokeos, ATutor, LAMS, Claroline, OLAT, iSpring Online, OpenACS, TalentLMS, Inkling, Versal, WebTutor и другие.

Для анализа отобраны 36 фреймворков LMS. Информация была собрана с сайтов систем, адреса которых представлены в первом столбце табл. 2.

Анализ выбранных LMS-платформ проводился по критериям, указанным в табл. 1. Часть их технических спецификаций, взятых с сайтов LMS, представлена в табл. 2. Очень немногие из изученных системы LMS имеют открытый исходный код, такие как Atutor, Chamilo, Sakai, OpenedX. Некоторые системы предоставляют бесплатные версии программного обеспечения, имея при этом и платные версии. Практически все изученные LMS-платформы соответствуют требованиям, описанным в SCORM (Sharable Content Object Reference Model), за исключением Cornerstone OnDemand, Edmodo SkillSoft, Thinkific, WorkWize.

Таблица 2

Список анализируемых LMS

№	Learning management systems	Цена/Лицензия	Кол-во пользователей	Поддержка языка
1	2	3	4	5
1	Adobe Captivate Prime (https://www.adobe.com/products/captivateprime.html)	4\$ в месяц/1299\$	1,000,000	10
2	Atutor (https://atutor.github.io/)	Open Source	-	64
3	BizLibrary (https://www.bizlibrary.com)	Нет информации	100,000	1
4	BlackBoard (https://www.blackboard.com)	Нет информации	25,000,000	25
5	Brightspace (https://www.d2l.com/)	Нет информации	15,000,000	12
6	Chamilo (https://chamilo.org/en/)	Open source	1,200,000	3
7	Cornerstone OnDemand (https://www.cornerstoneondemand.com/learning)	8\$-20\$ за пользователя		45

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
8	Docebo (https://www.docebo.com)	Нет информации	6,000,000	40
9	Edmodo (https://www.edmodo.com/)	-/2,500\$/ год	58,000,000	16
10	Edsby (http://www.edsby.com/)	Нет информации	Нет информации	46
11	Educadium (https://www.educadium.com/)	99\$ в месяц	Нет информации	100+
12	eFront (https://www.efrontlearning.com/)	750\$ в месяц	Нет информации	40
13	Instructure (https://www.instructure.com/)	Нет информации	20,000,000	34
14	iSpringLearn (https://www.ispringsolutions.com)	970\$ в год	160,000	1
15	Latitude Learning (https://www.ispringsolutions.com)	1\$ в месяц	4,200,000	4
16	LearnLinq (https://www.learnlinq.com) per month	200€ в месяц	750,000	14
17	LearnUpon (https://www.learnupon.com)	499€ в месяц	4,000,000	11
18	Lessonly (https://www.lessonly.com/)	Нет информации	Нет информации	12
19	Litmos (https://www.litmos.com/)	6\$ в месяц	4,000,000	28
20	Mindflash (https://www.mindflash.com/)	Нет информации	Нет информации	24
21	Moodle (https://moodle.com/)	-/Премиум	142,106,528	100+
22	NEO LMS (https://www.neolms.com)	-/0.05 за пользователя	1,125,219	40+
23	Open edX (https://open.edx.org/)	Open Source	14,000,000	5
24	Saba Software (www.saba.com)	Нет информации	33,000,000	40+
25	Sakai (https://www.sakailms.org/)	Open Source	Нет информации	18
26	SAP SuccessFactors (www.successfactors.com)	Нет информации	48,750,000	96
27	Schoology (http://www.schoology.com/)	-/лицензия	10,000,000	6
28	SkillSoft (http://www.skillsoft.com/)	-/платная	23,000,000	29
29	SkyPrep (http://skyprep.com/)	349\$ в месяц	250,000	5
30	ProProfs (https://www.proprofs.com)	-/ 59\$ в месяц	1,000,000	100
31	SumTotal (https://www.sumtotalsystems.com/)	-	-	29
32	TalentLMS (www.talentlms.com)	-/29\$ в месяц	2,600,000	13
33	Tortal Training LMS (https://www.tortal.com/learning-management-system-lms)	-/платная	493,000	1
34	Thinkific (www.thinkific.com)	-/49\$ в месяц	11,400,000	31
35	WizIQ (www.wiziq.com)	20\$ в месяц	500,000	21
36	WorkWize (https://www.workwize.com)	5900\$ в год	Нет информации	8

Большинство современных LMS предоставляют многоязычную поддержку интерфейса, что упрощает пользователям использование родного языка: только 28 % из изученных платформ LMS поддерживают до 10 различных языков, а остальные 72 % поддерживают более 10 языков. Только 3 платформы, а именно Tortal Training LMS, iSpringLearn и BizLibrary, поддерживают только англоязычный интерфейс. Как показывает табл. 2, разнообразие языков приводит к увеличению охвата пользователей.

Общие функциональные возможности, которыми обладают большинство изученных LMS-платформ, показаны на рис. 1.

Анализ подтверждает, что 89 % платформ соответствуют требованиям стандарта SCORM. Решение задач и добавление решения для среды электронного обучения возможны в 89 % (критерии L4). Несмотря на разнообразие социальных сетей и приложений для обмена мгновенными сообщениями, только 47 % проанализированных систем предоставляют возможность чата, и 69 % из них поддерживают форум. Если не произойдут изменения в будущих LMS, вполне возможно, что возрастет влияние социальных сетей в области образования, и скоро мы заговорим о социальных системах управления сетевым обучением. Другая проблема – это создание резервной копии данных. Например, пользователи облачной LMS вряд ли могут автоматизировать процесс создания резервной копии данных.

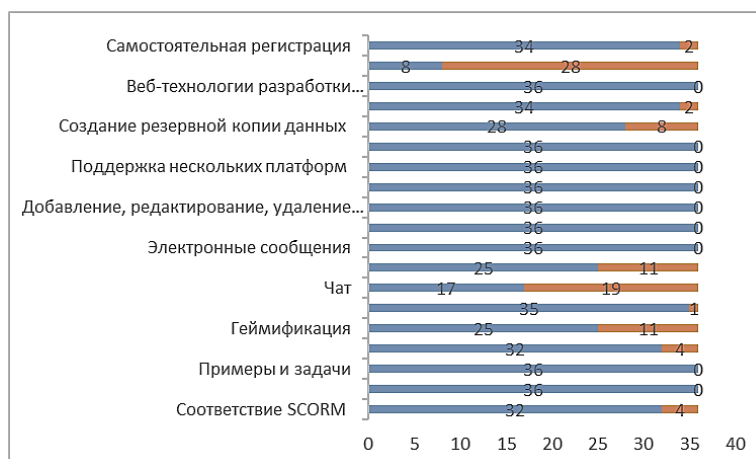


Рисунок 1 – Графическое представление результатов анализа 36 платформ LMS

В современных системах наблюдается повсеместное использование веб-технологий для разработки новых платформ. Некоторые системы предлагают поддержку саморегистрации и создание новых профилей пользователей (критерий T10). Следовательно, больше людей может иметь равный доступ к образованию.

Таким образом, основные тенденции современных LMS-платформ можно резюмировать следующим образом [7]:

- обеспечение кроссплатформенной поддержки;
- асинхронная работа;
- поддержка многоязычного интерфейса;
- поддержка самостоятельной регистрации пользователя: пользователь может создать аккаунт без предварительного запроса администратору;
- улучшение геймификации;
- улучшение коммуникации между пользователями, например, обмен текстовой и мультимедийной информацией, а также приближение современных LMS к понятию социальных сетей;
- использование облачных технологий для создания платформ LMS, снижение потребности в специализированном оборудовании, таком как веб-серверы, веб-адреса и сетевые администраторы, чтобы поддерживать их;
- возможность легко создавать и управлять лекциями, упражнениями и заданиями преподавателей и облегчение решения этих задач студентами, используя интерактивные модели управления.

Исследование [8] показывает, что для получения наилучших результатов оценки LMS необходимо учитывать, как аппаратное, так и программное обеспечение, при проектировании архитектуры.

Для оценки аппаратного и программного обеспечения LMS используется нечеткая продукционная модель Fuzzy-технологии. В соответствии с подходом, предложенным в [9], модель представляется набором правил нечеткой продукции

$$(i): Q; P; A \Rightarrow B; S; N,$$

где (i) – обозначение правила нечеткой продукции; Q – сфера применения нечеткой продукции, которая характеризует предметную область нечеткой модели; P – условие применения (активизации) ядра нечеткой продукции; $A \Rightarrow B$ – ядро нечеткой продукции; A – условие ядра (антецедент); B – заключение ядра (консеквент); \Rightarrow – знак логической секвенции (следования); S – метод или способ определения количественного значения степени истинности заключения ядра, который определяет алгоритм нечеткого вывода в продукционной нечеткой модели; N – постусловие продукционного правила, которое определяет действия или процедуры, выполняемые в случае реализации ядра продукции.

Ядро нечеткой продукции $A \Rightarrow B$ записывается в следующем виде:

ЕСЛИ x есть A , ТО y есть B ,

где x – входная переменная, $x \in X$; X – область определения антецедента нечеткого правила; A – нечеткое множество, определенное на X ; $\mu_A(x) \in [0,1]$ – функция принадлежности нечеткого множества A ; y – выходная переменная, $y \in Y$; Y – область определения консеквента нечеткого правила; B – нечеткое множество, определенное на Y ; $\mu_B(y) \in [0,1]$ – функция принадлежности нечеткого множества B .

На основе проведенного анализа LMS был определен следующий набор требований к аппаратному и программному обеспечению (входные переменные системы), который приведен в табл. 3.

Таблица 3

Входные переменные

Код	Переменная	Критерии
V1	Наличие серверного оборудования для работы	<i>Низкий</i> – LMS работает на обычном компьютере <i>Средний</i> – LMS работает на одном сервере (СУБД + веб-приложение) <i>Высокий</i> – БД и веб-приложение LMS работают на отдельных серверах
V2	СУБД для LMS	<i>Низкий</i> – Файловая СУБД <i>Средний</i> – Файл-серверная СУБД <i>Высокий</i> – Клиент-серверная СУБД
V3	Интеграция с системой управления вузом	<i>Низкий</i> – LMS функционирует как отдельная система и данные из системы управления вузом вносятся в нее вручную <i>Средний</i> – LMS функционирует как отдельная система и имеется подсистема интеграции с другими системами, в том числе из системы управления вузом <i>Высокий</i> – LMS является частью системы управления вузам, используют данные друг друга автоматически
V4	Наличие системы защиты	<i>Низкий</i> – система защиты не предусмотрена <i>Средний</i> – имеется файрвол с минимальным набором правил и антивирусное ПО <i>Высокий</i> – имеется файрвол с интеллектуальными правилами определения угроз и антивирусное ПО
V5	Наличие аутентификации и логирования действий пользователей	<i>Низкий</i> – доступ к ресурсам системы производится без аутентификации всем пользователям <i>Средний</i> – система имеет собственную систему аутентификации пользователей и логирование действий пользователей <i>Высокий</i> – единая система аутентификации LMS и системы управления вузам с логированием действий пользователей
V6	Скорость сети передачи данных	<i>Низкая</i> – от 10 до 50 Мб/с <i>Ниже среднего</i> – от 50 до 100 Мб/с <i>Средняя</i> – от 100 до 200 Мб/с <i>Выше среднего</i> – от 200 до 300 Мб/с <i>Высокая</i> – 300 Мб/с и более
V7	Поддержка клиентских возможностей	<i>Низкая</i> – используется только HTML <i>Средняя</i> – динамический HTML <i>Высокая</i> – динамический HTML с поддержкой ajax-запросов
V8	Наличие общения пользователей	<i>Низкая</i> – нет общения пользователей <i>Средняя</i> – общение через форум <i>Высокая</i> – общение через форум и чат <i>Очень высокая</i> – наличие системы видео-конференц-связи

Выходной переменной Q является лингвистическая переменная «Качество системы», которая имеет терм-множество $V9 = \{\text{«низкое качество системы»}, \text{«среднее качество системы»}, \text{«высокое качество системы»}\}$.

Функции принадлежности для входных и выходных переменных представлены нечеткими числами (L-R)-типа.

Нечеткое число в общем виде задается как

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{a-x}{\gamma} \right), & \text{если } a - \gamma \leq x < a; \\ 1, & \text{если } a \leq x \leq b; \\ 1 - \left(\frac{x-b}{\delta} \right), & \text{если } b < x \leq b + \delta; \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

и обозначается (a, b, γ, δ) .

Нечеткая база знаний (НБЗ) представляет собой совокупность нечетких правил, которые отражают опыт эксперта и его понимание причинно-следственных связей в рассматриваемой задаче. НБЗ, связывающая входы $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ с выходом y , представляется следующим образом:

$$(x_1 = \tilde{a}_{1j} \Theta_j x_2 = \tilde{a}_{2j} \Theta_j \dots \Theta_j x_n = \tilde{a}_{nj}) \Rightarrow y = d_j, \quad j = \overline{1, m},$$

где \tilde{a}_{ij} – нечеткий терм, которым оценивается переменная x_i в j -м правиле; d – заключение j -го правила; m – количество правил в НБЗ; Θ – логическая операция, связывающая фрагменты антецедента j -го правила (ей может быть логическая операция И или ИЛИ); \Rightarrow – нечеткая импликация.

Для создания базы правил были сформированы всевозможные сочетания входных переменных с участием всех термов, далее были удалены сочетания антецедентов, которые не имели смысла, консеквенты были заданы на основе знаний эксперта. В табл. 4 приведен фрагмент нечетких продукционных правил сформированной нечеткой базы знаний для оценки качества системы.

Таблица 4

Нечеткие продукционные правила

Номер	Условие/ следствие	Антецедент/ Консеквент
П1	ЕСЛИ	V1 = Высокий И V2 = Высокий И V3 = Высокий И V4 = Средний И V5 = Средний И V6 = Средняя И V7 = Высокая И V8 = Высокая
	ТО	Высокое качество системы
П2	ЕСЛИ	V1 = Средний И V2 = Высокий И V3 = Высокий И V4 = Средний И V5 = Средний И V6 = Средняя И V7 = Высокая И V8 = Высокая
	ТО	Высокое качество системы
...
П24	ЕСЛИ	V1 = Низкая И V2 = Низкая И V3 = Низкая И V4 = Низкий И V5 = Низкая И V6 = Ниже среднего И V7 = Низкая И V8 = Низкая
	ТО	Низкое качество системы

В основе известных алгоритмов нечеткого логического вывода лежит композиционное правило Заде [10-12]: если известно нечеткое отношение \tilde{R} между x и y , то при нечетком значении входной переменной $x = \tilde{A}$ нечеткое значение выходной переменной y определяется так: $y = \tilde{A} \circ \tilde{R}$, где знак « \circ » – максиминная композиция.

В данной работе применяется алгоритм Мамдани [13, 14]. Нечеткий вывод Мамдани выполняется по БЗ:

$$.(x_1 = \tilde{a}_{1j} \Theta_j x_2 = \tilde{a}_{2j} \Theta_j \dots \Theta_j x_n = \tilde{a}_{nj} \text{ с весом } w_j) \Rightarrow y = \tilde{d}_j, \quad j = \overline{1, m}$$

Степень выполнения посылки j -го правила для текущего входного вектора $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ рассчитывается как

$$\mu_j(X^*) = w_j(\mu_j(x_1^*) \chi_j \dots \chi_j \mu_j(x_n^*)), \quad j = \overline{1, m},$$

где χ_j обозначает t -норму, если в j -м правиле НБЗ используется И, и соответствует s -норме, если используется ИЛИ.

Результат нечеткого вида представляется в виде:

$$\tilde{y}^* = \left(\frac{\mu_1(X^*)}{\tilde{d}_1}, \frac{\mu_2(X^*)}{\tilde{d}_2}, \dots, \frac{\mu_m(X^*)}{\tilde{d}_m} \right).$$

Для перехода к нечеткому множеству на носителе $[\underline{y}, \overline{y}]$ выполняются операции импликации и агрегирования. В результате логического вывода по j -му правилу НБЗ получается нечеткое значение выходной переменной y :

$$\tilde{d}_j^* = \text{imp}(\tilde{d}_j, \mu_j(X^*)), \quad j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где imp – импликация, которая реализуется операцией минимума.

Результат логического вывода по всей НБЗ находится агрегированием нечетких множеств (1):

$$\tilde{y}^* = \text{agg}(\tilde{d}_1^*, \tilde{d}_2^*, \dots, \tilde{d}_m^*),$$

где agg – агрегирование нечетких множеств, которое реализуется операцией максимума.

Таким образом, разработана модель оценки набора требований к аппаратному и программному обеспечению сервисов LMS университета. В данной модели определены 8 входных лингвистических переменных, характеризующих вершину дерева LMS, 1 выходная лингвистическая переменная, характеризующая качество системы по 24 продукционным правилам.

В ходе выполнения данного исследования получены следующие новые научные результаты:

- определены показатели оценки аппаратного и программного обеспечения LMS;
- разработана модель оценки набора требований к аппаратному и программному обеспечению сервисов LMS университета

Список литературы

1. T.Y. Wang and C. H. Wang, «E-Learning Platform of STEAM Aesthetic Course Materials Based on User Experience», In Proc. Of the 1st International Cognitive Cities Conference (IC3), IEEE. – P. 123-128, August 2018.
2. Zaharias P. and Pappas C. «Quality management of learning management systems: A user experience perspective», Current Issues in Emerging eLearning. – Vol. 3(1). – 2016. – P. 5.
3. R. Kraleva, «Designing an Interface for a Mobile Application Based on Children's Opinion», International Journal of Interactive Mobile Technologies. – Vol. 11(1). – 2017. – P. 53-70.
4. J. W. Lin and H. C. K. Lin, «User acceptance in a computersupported collaborative learning (CSCL) environment with social network awareness (SNA) support», Australasian Journal of Educational Technology. – Vol. 35(1). – 2019. – P. 100-115.
5. Narayan V., Herrington J. and Cochrane T. «Design principles for heutagogical learning: Implementing student-determined learning with mobile and social media tools» Australasian Journal of Educational Technology. – Vol. 35(3). – 2019. – P. 86-101.
6. I. Valova and M. Marinov, «Facebook as a Tool Aiding University Education-Whether it is Possible and Useful», TEM Journal. – Vol. 8(2). – 2019. – P. 670-676.
7. R. Kraleva, M. Sabani, V. Kraleva An Analysis of Some Learning Management Systems International Journal on Advanced Science Engineering and Information technology. – Vol. 9. – 2019. – № 4.
8. Polizzi, G. Digital literacy and the national curriculum for England: Learning from how the experts engage with and evaluate online content. Comput. Educ. 2020, 152, 103859.
9. Грунина Г.С., Деменков Н.П. Решение многокритериальных задач оптимизации и принятия решений в нечеткой постановке// Информационные технологии. – 1998. – № 1. – С.13-15.
10. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
11. Zadeh, L.A., Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility, Fuzzy Sets and Systems. – Vol. 1. – 1978. – №1. – P. 3-28.

12. Zadeh, L.A., The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Information Sciences. – Vol. 8. – 1975. – P. 199-249, 301-357; Vol. 9. – P. 43-80.
13. Круглов В.В. Сравнение алгоритмов Мамдани и Сугэно в задаче аппроксимации функции // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2003. – № 5.
14. Sugeno M. Decision Making Problems // Transaction of the Society of Instrument and Control Engineers, Tokyo. – Vol. 11. – 1975. – № 6. – P. 85-90.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 55.55.31

М.В. Дудкин¹, А.И. Ким¹, М. Młyńczak², Е.Л. Дудкина¹, Б.А. Молдаханов¹, Б.К. Аукунова¹

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,

г. Усть-Каменогорск, Казахстан

²Wrocław University of Science and Technology², Poland

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА СНЕЖНОГО ФОНА ЭКСПЛУАТАЦИИ СНЕГООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

В работе описан процесс определения диапазона изменения величины объемной массы снега для 6 условных региональных климатических зон территории Республики Казахстан в зимний период времени; определены наиболее вероятные значения параметров, характеризующих свойства снега; на основе вероятных значений температуры и объемной массы снега получены наиболее ожидаемые значения удельного сопротивления резанию и коэффициентов внешнего и внутреннего трения снега, являющиеся основными физико-механическими характеристиками снежного покрова, изменение которых при взаимодействии рабочих органов снегоочистительных машин с разрабатываемым снежным массивом изменяет и энергоемкость процесса разработки снега, и тяговые сопротивления, и производительность машин.

Жұмыста қыс мезгіліндегі Қазақстан Республикасы аумағының алты шартты өңірлік климаттық аймақтары үшін қардың көлемдік массасы шамасының өзгеру диапазонын анықтау процесі сипатталған, қардың қасиеттерін сипаттайтын параметрлердің ықтимал мәндері анықталды, қардың температурасы мен көлемдік массасының ықтимал мәндерінің негізінде қар жамылғысының негізгі физикалық-механикалық сипаттамалары болып табылатын қардың сыртқы және ішкі үйкеліс коэффициенттері мен кесудің нақты кедергісінен күтілетін мәндері алынды, қар тазарту машиналарының жұмыс органдарының игерілетін қар массивімен өзара әрекеттесуі кезіндегі қар өзірлеу процесінің энергия сыйымдылығы, тарту кедергісі және машиналардың өнімділігінің өзгерістері.

The paper describes the process of determining the range of change in the volumetric snow mass for 6 conditional regional climatic zones of the territory of the Republic of Kazakhstan in the winter period of time, the most probable values of the parameters characterizing the properties of snow are determined, based on the probable values of temperature and volumetric snow mass, the most expected values of resistivity are obtained cutting and the coefficients of external and internal friction of snow, which are the main physical and mechanical characteristics of the snow cover, the change in which, when the working bodies of the snowplow machines interact with the developed snow massif, change the energy intensity of the snow development process, and the traction resistance, and the productivity of the machines

Ключевые слова: снег, снежный покров, объемная масса снега, снежно-ледяные образования, снегоочистители, снегоуборочная техника

Введение. Приведенные в данной статье результаты получены при конкурсной подготовке к проекту АР09260192 «Разработка инновационного фрезерно-роторного снегоочистительного рабочего оборудования с повышенной эффективностью работы» в зимний период 2019-2021 гг. Цель проекта АР09260192 – разработка и создание (до промышленного внедрения) инновационной конструкции высокопроизводительного фрезерно-роторного снегоочистительного оборудования с повышенной эффективностью работы, определение его рациональных параметров и режимов работы на основе теоретических и экспериментальных зависимостей показателей процесса взаимодей-

ствия элементов снегоочистительного оборудования с разрабатываемым материалом [1, 2, 3]. Таким образом, совершенствование конструкции фрезерно-роторного рабочего органа снегоочистителя и его рабочего процесса с точки зрения повышения эффективности его работы, а именно интенсивности рабочего процесса, является актуальной задачей. Но без знания ожидаемой величины объема ежегодных снежных осадков, их свойств и условий разработки, создание новой снегоуборочной техники может быть бесполезным из-за неспособности этих машин работать в конкретных природных условиях и с присущими этому региону свойствами снежной массы.

Вероятностная оценка температуры и плотности снежного покрова. Образующийся на автодорогах и аэродромах снежный покров в значительной степени определяется характером земной поверхности и метеорологическими условиями. При выпадении снега в безветренную погоду он покрывает поверхность земли слоем примерно одинаковой высоты. Плотность свежевыпавшего снега составляет 0,05...0,1 г/см³, мокрого снега – до 0,2 г/см³, мокрого снега, выпадающего с дождем, – до 0,3 г/см³. При поземках, когда скорость ветра более 3 м/с, снежинки, достигшие поверхности снежного покрова, не могут сразу закрепиться и начинают скользить или катиться по поверхности. В результате снежинки разрушаются и переносятся в подветренные места, что приводит к образованию заносов, которые достигают большой высоты и значительной плотности. Плотность слоя свежего сухого снега во время верховой метели может достигать 0,20...0,30 г/см³, снега после низовой метели – 0,4...0,43 г/см³.

Физическое состояние снега отражается на его механических свойствах. Рыхлый снег ведет себя как сыпучее тело, уплотненный – как вязкоупругий материал, смерзшийся – как хрупкий материал [4-6].

Для анализа массива данных по температуре t^0 и плотности ρ снега использовался метод обработки непрерывной случайной величины на основе положений теории вероятности [6].

Рассмотрим на примере 2 региона методику обработки статистических данных по температуре воздуха и плотности снежного покрова. В ходе статистических наблюдений установлено, что пределы применения среднемесячной t^0 воздуха для данной климатической зоны от 0 °С до -27 °С, плотность снега изменяется от 0,11 до 0,35 т/м³ (табл. 1 и 2).

Интервалы Δx для оценки температуры воздуха и плотности снега выбирались из условия нарушения статистического распределения непрерывной случайной величины. По данным табл. 1 строятся гистограммы и полигоны распределения плотностей вероятностей P_i температуры t^0 и плотности ρ , рис. 1 и 2.

Далее определяются математические ожидания $M(x)$ для величин температуры воздуха и объемной массы снега:

$$M(t^0) = \sum_{i=1}^{10} t_i (P t_i) = 15,3;$$

$$M(\rho) = \sum_{i=1}^{15} \rho_i (P \rho_i) = 0,29.$$

Таблица 1

Статистическое распределение температуры воздуха ВКО

Интервалы температур, t^0 С	Частота показания случайной величины t^0 воздуха, m_t^*	Опытные частности $P_{ti}^* = \frac{m_{ti}^*}{N}$
0 – 2,9	5	0,019
3,0 – 5,9	12	0,047
6,0 – 8,9	23	0,09
9,0 – 11,9	36	0,14
12,0 – 14,9	47	0,185
15,0 – 17,9	49	0,19
18,0 – 20,9	38	0,15
21,0 – 23,9	25	0,1
24,0 – 26,9	13	0,05
27,0 – 29,9	6	0,02

Таблица 2

*Статистическое распределение объемной массы (плотности) снега
для Восточно-Казахстанской области*

Интервалы плотности снега, ρ , т/м^3	Частота показания случайной величины в интервал, $m_{\rho i}^*$	Опытные частности $P_{\rho i}^* = \frac{m_{\rho i}^*}{N}$
0,11 – 0,129	4	0,01
0,13 – 0,149	6	0,017
0,15 – 0,169	10	0,028
0,17 – 0,189	12	0,034
0,19 – 0,209	19	0,053
0,21 – 0,229	25	0,069
0,23 – 0,249	33	0,092
0,25 – 0,269	38	0,106
0,27 – 0,289	42	0,117
0,29 – 0,309	44	0,123
0,31 – 0,329	37	0,10
0,33 – 0,349	34	0,09
0,35 – 0,369	26	0,073
0,37 – 0,389	20	0,06
0,39 – 0,409	14	0,039

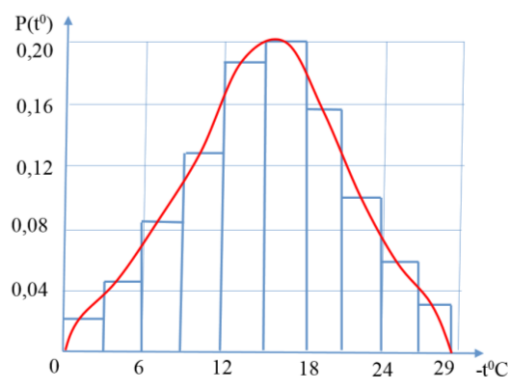


Рисунок 1 – Гистограмма и полигон распределения температуры воздуха t^0 по Восточно-Казахстанской области

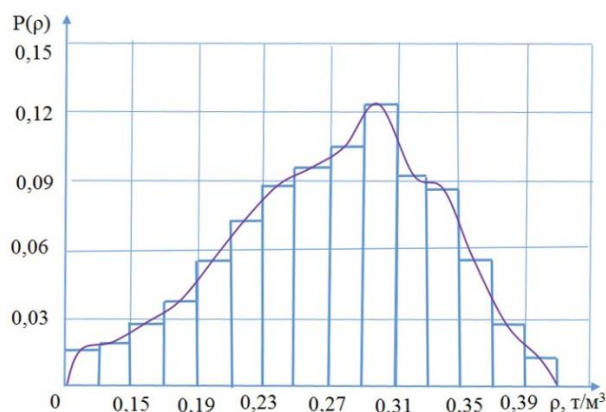


Рисунок 2 – Гистограмма и полигон распределения объемной массы снега по Восточно-Казахстанской области

Статистическая дисперсия $D(x)$ характеризует разброс случайной величины относительно ее математического ожидания:

$$D(t^0) = \sum_{i=1}^{10} (t_i^0 - M(t^0))^2 P t_i = 36,9,$$

$$D(\rho) = \sum_{i=1}^{15} (\rho_i - M(\rho))^2 P \rho_i = 0,005.$$

Для принятия обоснованных решений о неизвестных параметрах генеральной совокупности к оценкам (числовые характеристики, плотности вероятности) предъявляются требования доброкачественности, т.е. несмещенности. Этому требованию удовлетворяет статистическое математическое ожидание, остальные характеристики являются смещенными. Чтобы ликвидировать смещенность, вводится поправка $n/n-1$, умножение на которую позволяет получить исправленное значение среднеквадратического отклонения [5-6]:

$$S(x) = \sqrt{\frac{n}{n-1} D_x},$$

где n – количество разрядов.

$$S(t^0) = 6,4; S(\rho) = 0,073.$$

Среднее квадратическое отклонение среднего результата:

$$\delta_{M(x)} = \frac{S(x)}{\sqrt{n}}; \delta_{M(t^0)} = 2,02; \delta_{M(\rho)} = 0,02.$$

Для нахождения величины двустороннего доверительного интервала разброса среднего результата I_g , отвечающего доверительной вероятности $P_g = 95\%$, предварительно определяется половина доверительного интервала

$$\delta_x = \delta_{M(x)} \arg \Phi (P_g),$$

где $\arg \Phi (P_g)$ – функция Лапласа.

$$\delta_{t^0} = \delta_{M(t^0)} \arg \Phi (P_g = 95\%) = 3,96,$$

$$\delta_{\rho} = \delta_{M(\rho)} \arg \Phi (P_g = 95\%) = 0,039.$$

Двусторонний доверительный интервал разброса для среднего результата

$$I_{g_x} = \{M_{(x)} - \delta_x < \overline{M}_{(x)} < M_{(x)} + \delta_x\},$$

где $\overline{M}_{(x)}$ – истинное математическое ожидание.

$$I_{g_{t^0}} = 11,3 < M(t^0) < 19,26,$$

$$I_{g_{\rho}} = 0,25 < M(\rho) < 0,33.$$

Таким образом, в результате обработки статистических данных о температуре воздуха и объемной массе снега для месяцев с $t^0 \text{C} < 0$ по Восточному Казахстану, можно утверждать, что с вероятностью наступления события $P_g = 95\%$ при уровне значимости 0,1 интервал изменения температуры воздуха t_1^0 за исследуемый период составляет $-11,3 \dots -19,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ и объемной массы снега $\rho_1 = 0,25 \dots 0,33 \text{ т/м}^3$.

Аналогичным образом по каждому региону были построены гистограммы и полигоны распределения температуры воздуха и объемной массы снежного покрова (рис. 3) и определены интервалы изменения этих параметров для основных климатических регионов территории Республики Казахстан.

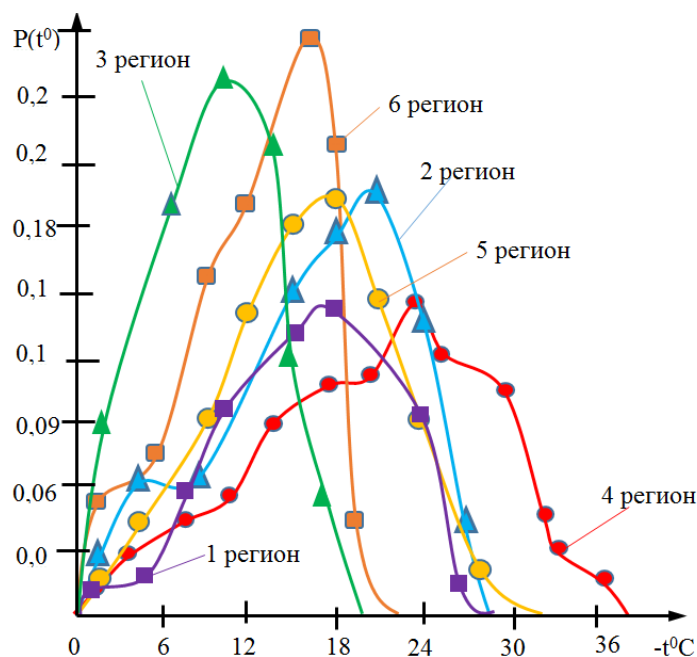


Рисунок 3 – Полигон распределения температуры воздуха по регионам Республики Казахстан

Результаты вычислений приведены в табл. 3.

Таблица 3

Вероятностные интервалы изменения температуры воздуха
и объемной массы снега

Регион	Температура воздуха, $t^0(-^0C)$	Объемная масса снега, $P, т/м^3$
1	10,9 – 19,9	0,30 – 0,38
2	11,9 – 22,5	0,24 – 0,29
3	4,1 – 12,3	0,22 – 0,28
4	11,3 – 19,3	0,25 – 0,33
5	17,7 – 27,5	0,23 – 0,31
6	6,9 – 15,9	0,15 – 0,21

Анализируя результаты, полученные в ходе обработки статистических данных, можно сделать следующие выводы: на большей части 1 региона РК (Западный Казахстан) средняя объемная масса снежного покрова составляет $0,27 т/м^3$, в 4 регионе (Северный Казахстан) – более $0,28 т/м^3$, на территории Костанайской области – $0,22...0,26 т/м^3$, в Южном Казахстане из-за высокой влажности теплого, мокрого снега достигает $0,33 т/м^3$, в районе Павлодара характеризуется интервалом $0,16...0,18 т/м^3$, в северо-восточной части Карагандинской области – $0,32...0,39 т/м^3$.

Вероятностные интервалы (табл. 3) были получены с использованием числовых характеристик нормального закона распределения случайных величин. Для проверки этой гипотезы воспользуемся критериями согласия Пирсона. При этом необходимо вычислить опытные математические ожидания и дисперсию, найти теоретические вероятности попадания случайной величины в опытные разряды Δx и теоретические частоты.

Опытные частоты определяются зависимостью

$$P_{t_i}^* = \frac{m_i^*}{N},$$

где m_i^* – частота попадания случайной величины в интервал; N – общее число наблюдений.

$$\begin{array}{lll} P_{t_1^0}^* = 0,059; & P_{t_2^0}^* = 0,062; & P_{t_8^0}^* = 0,015; \\ P_{\rho_1}^* = 0,022; & P_{\rho_2}^* = 0,033; & P_{\rho_8}^* = 0,016; \end{array}$$

Опытное математическое ожидание

$$M_{(t^0)}^* = 15,3; \quad M_{(\rho)}^* = 0,29.$$

Несмещенная оценка для среднеквадратического отклонения (n – число разрядов)

$$\begin{array}{ll} \bar{S}_{(x)} = S_{(x)} = \sqrt{\left(\frac{n}{n-1}\right) D_{(x)}^*}, & \\ \tilde{S}_{(t^0)} = 6,4; & \tilde{S}_{(\rho)} = 0,073. \end{array}$$

Применяя метод моментов, экспериментальное распределение выравниваем нормальным законом вида

$$f_x = \frac{1}{\tilde{S}_{(x)} \sqrt{2\pi}} \exp - \frac{(x - M_{(x)}^*)^2}{2\tilde{S}_{(x)}^2}.$$

Заключение.

1. Диапазон изменения величины объемной массы снега по территории Республики Казахстан составляет 0,14...0,16 т/м³, в малоснежных районах – 0,31...0,33 т/м³, на севере республики – 0,36...0,4 т/м³.

2. Объемная масса снежного покрова и температура для 6 основных климатических районов РК подчиняются закону нормального распределения с вероятностью $P_g = 95\%$ и при уровне значимости $\alpha = 0,1$.

3. На основе вероятных значений температуры и объемной массы снега получены наиболее вероятные значения удельного сопротивления резанию и коэффициентов внешнего и внутреннего трения снега, являющиеся основными физико-механическими характеристиками снежного покрова для основных регионов территории Республики Казахстан.

4. Определение наиболее вероятных значений параметров, характеризующих свойства снега, имеет решающее значение для расчета сопротивлений, возникающих при работе снегоочистительного и снегоуборочного оборудования, так как с изменением сопротивлений при взаимодействии рабочих органов указанных машин с разрабатываемым снежным массивом соответственно изменяются энергоемкость процесса разработки снега, тяговые сопротивления и производительность машин.

Список литературы

1. Иванов А.Н., Востокова Е.А., Пономарева Р.Л. Новый ГОСТ на роторные снегоочистители // Строительные и дорожные машины. – 1982. – № 11.
2. Абрамов Л.Н. Экспериментальные исследования эффективности фрезерного питателя снегоочистителя // Труды МАДИ. – М., 1985. – С. 88-94.
3. Шалман Д.А. Снегоочистители. – Л.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
4. Иванов А.Н., Мишин В.А. Снегоочистители отбрасывающего действия. – М.: Машиностроение, 1981. – 159 с.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – 10-е изд. – Москва: Высшая школа, 2006. – 575 с.

Получено 3.11.2020

МФТАА 89.23.31

А.Е. Жакупова¹, Ж.М. Рамазанова¹, Г.У. Ерболатова², Ж.А. Амангелды¹, О.М. Әбдірахман¹¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ.²Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ.**ҒАРЫШТЫҚ АППАРАТТАРДЫ БАҒДАРЛАУ ЖӘНЕ ТҰРАҚТАНДЫРУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ БАСҚАРУ ҚОЗҒАЛТҚЫШ-МАХОВИКТЕРІНІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ ДАМУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ**

Қазіргі заманғы техникалық деңгейі және ғарыштық аппараттарды бағдарлау және тұрақтандыру жүйелерінің басқару қозғалтқыштарын дамытудың перспективалық бағыттары қарастырылады. Динамикалық моментті тікелей басқаруды енгізумен, бұзылу сәттері мен массалық сипаттамалардың төмендеуімен байланысты ғылыми-техникалық міндеттерге ерекше назар аударылады. Шағын және ауыр ғарыш аппараттарында ұшатын қозғалтқыштарды пайдалану кезінде пайда болатын ерекшеліктер атап өтілді.

Рассматриваются современные технические уровни и перспективные направления развития двигателей управления систем ориентации и стабилизации космических аппаратов. Особое внимание уделяется научно-техническим задачам, связанным с внедрением прямого управления динамическим моментом, снижением моментов нарушения и массовых характеристик. А также, возникающие при эксплуатации летательных двигателей на малых и тяжелых космических аппаратах.

The article considers modern technical levels and promising directions of development of engines for controlling spacecraft orientation and stabilization systems. Special attention is paid to scientific and technical problems related to the introduction of direct dynamic moment control, reduction of breaking moments and mass characteristics. As well as those that occur during the operation of aircraft engines on small and heavy spacecraft.

Түйінді сөздер: басқару қозғалтқышы-ұшқыш, ғарыш аппараты, техникалық деңгей, перспективалар.

Kipicne. Қазіргі уақытта әртүрлі отандық және шетелдік ғарыш аппараттарын (ҒА) бағдарлау және тұрақтандыру жүйелерінің электромеханикалық атқарушы органдары ретінде негізінен басқару қозғалтқыш-маховиктер (БҚМ) қолданылады, кей кезде – күштік гироскоптар қолданылады. БҚМ-нің негізгі міндеттері жоғары дәлдіктегі бұрыштық тұрақтандыруды жүзеге асыру және тұрақтандыру осьтері бойымен динамикалық және кинетикалық моменттерді қалыптастыру арқылы ғарышта ҒА бағдарлауды басқару болып табылады.

КА корпусына қолданылатын БҚМ M_d динамикалық моментін қалыптастыру роторының бұрыштық айналу жылдамдығының ω өзгеруіне байланысты БҚМ H кинетикалық моментін өзгерту арқылы жүзеге асырылады:

$$M_d = M_{\Sigma M} - M_c \operatorname{sign}(\omega) = \frac{dH}{dt} = J_o \frac{d\omega}{dt} = J_o \varepsilon, \quad (1)$$

мұндағы $M_{\Sigma M}$ – БҚМ электр қозғалтқышымен жасалатын күштердің электромагниттік моменті; M_c – БҚМ роторының айналу кедергісінің нәтижелі моменті; J_o – БҚМ роторының инерциясының осьтік моменті; ε – БҚМ роторының бұрыштық үдеуі.

Құрылымдық жағынан, БҚМ тұрақты магниттері бар екі фазалы синхронды қозғалтқыштан (ТМСК), шыбық, шарикті мойынтіректер, корпус, негіз және ток реттегіші, екінші қуат көзі, сигнал және қуат интерфейсі бар электроника блогынан тұрады.

БҚМ екі фазалы ротор позициясының сенсорымен жабдықталған, ол ток реттегіштерінің кірісіне берілетін және қозғалтқыш орамаларында токтың гармоникалық формасын және электромагниттік моменттің импульстарының болмауын қамтамасыз етеді.

Ротордың дискісіне қатысты тіректердің орналасуына байланысты консольдік [1] және симметриялық [2] құрылымдық схемалар бөлінеді. БҚМ консольдік конструкциясы симметриялы дизайнмен салыстырғанда ең жақсы массалық сипаттамаларға ие, бірақ құрылымның беріктігін арттыру қажет болған жағдайда, мысалы, ауыр КА үшін, роторға қатысты тіректерді симметриялы орналастырған жөн.

БҚМ конструкцияларының көпшілігі гермокамерамен жабдықталған, ол ротордың айналуына қарсылық моментінің аэродинамикалық компонентін азайтуға ғана емес, сонымен қатар шарикті мойынтіректі тіректердің ыңғайлы жұмыс жағдайларын қамтамасыз етеді, бұл олардың сенімділігін арттырады және қызмет ету мерзімін арттырады.

Отандық және шетелдік өндірістің қазіргі БҚМ сипаттамаларын, сондай-ақ тапсырыс берушілер оларға қойылатын талаптарды талдау БҚМ дамуының келесі негізгі бағыттарын анықтауға мүмкіндік береді:

- жаппай габаритті сипаттамалардың төмендеуі;
- белсенді өмір сүру мерзімінің ұлғаюы;
- шағын өлшемді ғарыш аппараттары кластарының қарқынды дамуы салдарынан да, ауыр класты аппараттарда кеңінен қолдану есебінен де қолдану саласының кеңеюі;
- шығу сипаттамаларының дәлдігін арттыру;
- қоздыру сәттерін төмендету;
- функцияларды интеллектуализациялау.

Массалық сипаттамалардың төмендеуі және БҚМ белсенді өмір сүру мерзімінің ұлғаюы.

Бұл талаптар ҒА-ның барлық борттық аппаратурасы үшін ортақ болып табылады және жеңіл материалдар мен ұзақ сақтау мерзімі бар қазіргі заманғы электр радио бұйымдарды қолдану арқылы қол жеткізіледі. Сонымен қатар, массаның төмендеуіне моноблок дизайнына көшу арқылы қол жеткізіледі, онда электроника платалары БҚМ негізінде орналастырылған [3]. Моноблокты конструкция ҒА-да БҚМ алатын аз көлемді қамтамасыз етеді және оны қуат кабельдері жоқ контейнердің әртүрлі жерлерінде орналастыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, БҚМ қуат корпусына электроника тақталарын орналастыру сәулененуден қосымша қорғауды қамтамасыз етеді.

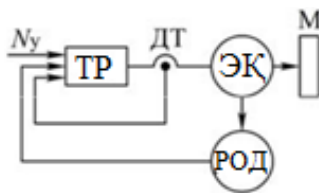
Қолдану аясын кеңейту. БҚМ-ды ауыр ҒА-да қолдану кинетикалық H және басқару M_d сәттерін ұлғайтуды талап етеді. (1) сәйкес БҚМ H кинетикалық моментінің ұлғаюына ω роторының бұрыштық айналу жылдамдығы немесе J_o роторының инерциясының осьтік моменті артады. Бұрыштық жылдамдық жоғарылаған кезде шарикті мойынтіректердің ресурсы төмендейді, қуат тұтынуы артады, айналу кедергісі моменті, БҚМ моменттерін бұзады. Ротордың J_o инерциясының осьтік моментінің жоғарылауы БҚМ массасын, айналуға қарсылық моментін және жанасу моментін арттырады. Сондықтан, бұл жағдайда міндет аталған параметрлер арасында ымыраға келуге дейін азаяды және ҒА-ның қажетті сипаттамалары мен мақсаты негізінде шешіледі.

Ауыр құрылғыларда БҚМ қолдану басқару динамикалық моментін ұлғайтуды қажет етеді, бұл өз кезегінде БҚМ жұмыс тогының өсуіне әкеледі. Жұмыс тогын төмендетудің мүмкін нұсқасы «27 В» аспабының қуат беру шинасынан «100 В» шинасына ауысу болып табылады. Бұл жағдайда жылу шығыны тұтыну тогының квадратына пропорционал азаяды. «100 В» шинасына көшу көпір инверторларының тізбектерінде БҚМ фазаларын қоректендірудің MOSFET және IGBT транзисторларын биполярлардың орнына қолдануға әкеледі. Шағын ҒА-да БҚМ пайдалану кезінде БҚМ және басқару электроникасының минималды массалық габаритті сипаттамаларын, ең аз энергияны тұтынуды, кинетикалық моменттің өзгеруінің барлық диапазонында басқару әсерінің сызықтық болуын қамтамасыз ету қажет. Сонымен қатар, БҚМ дизайны сыртқы механикалық жүктемелерге жоғары төзімділікке ие болуы керек. Бұл техникалық мәселелерді шешу – белсенді өмір сүрудің аз мерзіміне байланысты электрониканы толық резервтеуден бас тартумен (әдетте 5 жылдан аз) интеграцияның жоғары дәрежесі бар электр радиобұйымдарды қолдануда, «энергия тұтыну-ротор массасы» өлшемі бойынша БҚМ оңтайландыруда және беріктігі жоғары конструкциялық қорытпаларды пайдалануда [4].

БҚМ шығыс сипаттамаларының дәлдігін арттыру. Олардың дәлдігін арттыру басқарудың жаңа заңдарын енгізуді талап етеді. БҚМ-нің негізгі жалпыланған сипаттамалары дамыған моменттер-кинетикалық H және динамикалық M_d , олар ҒА динамикасымен анықталады.

M_d моментін басқарудың екі әдісі мүмкін екенін көруге болады (1): жанама және тікелей.

Бірінші жағдайда, функционалды схемаға сәйкес ТМСҚ-ды басқарудың жиілік-ток әдісі жүзеге асырылады (1-сурет) электр қозғалтқышынан ЭҚ, роторының орналасу датчиктерінен РОД және датчик тогынан ДТ, маховигінен М және ток реттегішінен ТР тұратын.



1-сурет – БҚМ схемасының жиілік-ток реттегішінің функционалдық схемасы

Схемада ЭК I_ϕ фазалық тогының амплитудасының TP кірісіне түсетін N_y басқару сигналының мәніне сызықтық тәуелділігі жүзеге асырылады:

$$I_\phi = K_T N_y \quad (2)$$

мұндағы K_T – басқару кодын фазалық токқа түрлендіру коэффициенті.

БҚМ электр қозғалтқышының электромагниттік моменті фазалық токтың амплитудасына байланысты және қозу ағынының гармоникалық формасында және РОД Шығыс кернеулерінің амплитудасында пульсация болмайды:

$$M_{эм} = C_m I_\phi \quad (3)$$

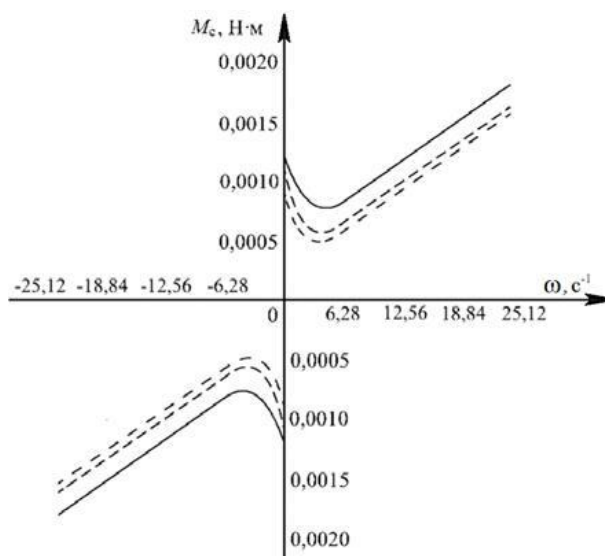
мұндағы C_m – пропорционалдылық коэффициенті.

(2), (3)-ті (1)-ге ауыстыру арқылы біз жиілікті-тоқты басқару әдісімен БҚМ динамикалық моментінің қалыптасу заңын аламыз:

$$M_d = C_m K_T N_y - M_c \text{sign}(\omega) \quad (4)$$

$C_m K_T N_y$ көбейтіндісі басқару функциясы болып табылады, оған M_c кедергі моментінен кедергі компоненті қолданылады, оның мәні ω роторының бұрыштық айналу жылдамдығына байланысты (2-сурет). Атап айтқанда, $\omega = 0$ кезінде жанасу сәтінің әсеріне байланысты басқару бойынша сезімталдық аймағы қалыптасады:

$$N_{yh} = \frac{M_T}{C_m K_T} \quad (5)$$



2-сурет – БҚМ роторының бұрыштық айналу жылдамдығына кедергі моментінің тәуелділік графиктері

1-суретте қарастырылған басқару әдісінің қарапайым техникалық іске асырылуы бар екенін көрсетеді, сондықтан қазіргі уақытта әртүрлі БҚМ-де кеңінен қолданылады.

Кедергі мен жанасу моменттерін өтеу басқару функциясын кедергі моментіне тең қосымша сигналмен қорытындылау болып табылады [5]. Алайда, қарсылық моментінің тұрақсыздығы мен сызықты емес болуына байланысты оны толығымен өтеу мүмкін емес.

Тікелей басқару өрнекке сәйкес ротордың бұрыштық жылдамдығын реттеу арқылы динамикалық моментті басқаруды қамтамасыз етеді

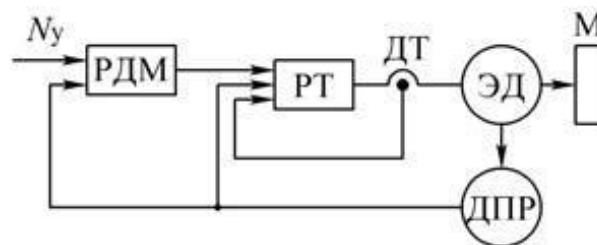
$$M_d = J_o \varepsilon \quad (6)$$

Басқарудың осы әдісін іске асыратын функционалдық схема (3-сурет), мысалы, басқару сигналының цифрлық интеграторы негізінде орындалған РДМ динамикалық сәт реттегішінің қосымша модулін қамтиды. Динамикалық момент реттегіші пропорционалды теңдікті қамтамасыз етеді

$$\varepsilon = K_\varepsilon N_y \quad (7)$$

айналмалы қарсылық моментінен тәуелсіз пропорционалды басқару заңы пайда болады:

$$M_d = K N_y \quad (8)$$



3-сурет – БҚМ моментін тікелей реттегіштің функционалдық схемасы

2 Н*м*с кинетикалық моменті және 0,05 Н*м динамикалық моменті бар БҚМ-де отандық элементтік базада толығымен салынған динамикалық момент реттеуішінің модулін енгізу нәтижелері реттеу сипаттамасының сызықтық сипатқа ие екендігін, ал аспаптың рұқсат ету қабілеті 0,000025 Н*м/ед құрайтынын көрсетті. БҚМ модулінің массасы 120 г аспайды, ал тұтынылатын қуат 0,4 Вт құрайды. Бұл жағдайда құрылғының функционалдығы едәуір кеңейді – және үш басқару режимі мүмкін болды: электромагниттік, кинетикалық және динамикалық моменттер бойынша.

БҚМ-нің бұзылған сәттерін азайту. Динамикалық моментпен қатар, БҚМ теңгерілмеген ротор мен мойынтіректердің инерциясының негізгі орталық осінің аудармалы және бұрыштық ауытқуларымен қозғалатын ауыспалы бұзылу моменттерін жасайды, олардың қозғалмалы бөліктері бар: сыртқы сақина, шарлар, сепаратор.

Жылжымалы мойынтіректер – бұл геометриялық пішіндер мен өлшемдердің төзімділік шегінде ауытқуынан туындаған кең спектрлі тербелістердің көзі. Олардың ішіндегі ең маңыздылары-саңылаулар, сақиналардың радиалды және осьтік жекпе-жегі, сақиналардың сопақтығы, жиегі мен конустығы, шарлардың әртүрлі мөлшері, сопақтығы мен жиегі, сепараторлардың ұяларындағы төзімділік, жолдардың толқындылығы мен кедір-бұдырлығы. Мойынтіректердің тербелістерінің негізгі себептері және оларға сәйкес жиіліктер кестеде келтірілген.

Подшипник торабының дірілімен шартталған БҚМ-нің қоздыру әсерін төмендетуге діріл деңгейі бойынша қосымша талаптары бар дәлме-дәл радиалды-тіректі подшипниктерді (дәлдік кластары 2 және 4) қолдану арқылы қол жеткізіледі, бұдан басқа, шарикоподшипник сақиналарының серпімді қысылуы мойынтірек торабының қаттылығын арттыруға, Роторлық жүйенің меншікті жиілігін арттыруға және сол арқылы қоздыру сәттерін азайтуға мүмкіндік береді.

Шарикті мойынтіректің діріл жиілігі

Себебі	Жиілік, Гц
Мойынтірек сақиналарының сопақтығы	$\frac{2\pi}{60}$
Шарлардың әртүрлі мөлшері	$\frac{r_1}{r_1 + r_2} \frac{z}{2} \frac{n}{60}$
Сепаратор ұяларындағы саңылаулар, сепаратордың теңгерімсіздігі	$\frac{1}{2} \left(1 - \frac{d_{uu}}{D_0}\right) \frac{n}{60}$
Жылжымалы денелерді домалату кезінде мойынтіректің қаттылығының мерзімді өзгеруі	$\frac{z}{2} \left(1 - \frac{d_{uu}}{D_0}\right) \frac{n}{60}$
Тербеліс денелерінің сопақтығы мен қырлығы	$\frac{D_0}{d_{uu}} \left(1 - \frac{d_{uu}^2}{D_0^2}\right) \frac{z}{2} \frac{kn}{60}$
Мойынтірек сақиналарының толқындылығы	$\frac{m}{2} \left(1 \pm \frac{d_{uu}}{D_0}\right) \frac{n}{60}$
n – ротордың айналу жиілігі, айн/мин; r_1, r_2 - ішкі және сыртқы сақиналардың домалату жолдарының радиусы; z – тербеліс денелерінің саны; D_0 – тербеліс денелерінің центр диаметрі; d_{uu} – тербеліс денесінің диаметрі; k – қырлар саны; m – ішкі немесе сыртқы сақинаны бұру жолының шеңбері бойынша толқындардың саны	

Мойынтірек түйінінің жеткілікті қаттылығын қамтамасыз етуден басқа, ротордың меншікті конструктивтік жиіліктері БҚМ (0... n) роторының айналу жиілігінің жұмыс диапазонында жатпауы қажет. РР роторының өз жиіліктеріне қойылатын талаптарды келесідей жазуға болады:

$$f_p = (1,3 \dots 1,5) \frac{\pi n}{30} \quad (9)$$

Осы талаппен бір мезгілде ротордың ең аз мүмкін массалық габаритті сипаттамалары және айналу процесінде оның теңгерімсіздігі мен үзілу мүмкіндігін болдырмайтын беріктігі мен аққыштығы бойынша Қордың жеткілікті коэффициенттері болуы тиіс.

Жоғарыда аталған талаптарды неғұрлым толық қанағаттандыратын ротордың құрылымын оңтайландыру үшін Роторлық жүйенің динамикасының әрине-элементтік модельдеуі жүргізіледі, нәтижесінде оның меншікті жиіліктері анықталады (4-сурет) оның ішінде Кэмпбелл диаграммалары, ротор конструкциясындағы орын ауыстыру, деформация және кернеу түрінде.



4-сурет – Соңғы-элементтік ротор динамикасын модельдеу: а – соңғы-элементтік модель; б – бірінші өз жиілігіне сәйкес келетін тербеліс модасы түріндегі модельдеу нәтижелері

Қоздырғыш моменттердің амплитудасы негізінен ротордың қалдық теңгерімсіздігімен анықталады. Сондықтан, ашуланшақ сәттердің төмендеуі БҚМ роторының теңдестіру сапасына тікелей байланысты.

Дәлдікті арттыру үшін дәл теңдестіру жабдықтарын қолданумен қатар, роторды теңдестіру БҚМ құрамындағы өз шарикті мойынтіректерде жүзеге асырылады, бұл белгілі бір дәрежеде мойынтіректердің дірілін өтеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бірқатар құрылымдық шаралар, соның ішінде айналмалы жүйеге кіретін бөлшектерді бірдей жылу кеңейту коэффициенттері бар материалдардан жасау БҚМ-нің бүкіл қызмет ету мерзімі ішінде теңдестірудің тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Қорытынды. Осылайша, бүгінгі таңда БҚМ дамуының негізгі перспективалық бағыттары динамикалық сәтте тікелей басқаруды енгізу, интеллектуализация және наразылық тудыратын сәттерді азайту болып табылады. Динамикалық моментті пайдалану арқылы басқару қозғалтқыш-маховиктерін барынша тиімді пайдалана аламыз. Осы мақалада айтылған зерттеулер алдағы уақытта ғарыш саласына бірден бір үлес алып келетіні маңызды болып табылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Иванющенко А.А. Микро кластағы ғарыш аппараттарына арналған қозғалтқыш-маховиктерді миниатюралау мәселелері // АО «НПЦ «Полюс». – Томск, 2018. – 176-179 б.
2. Дмитриенко А.С., Завьялова О.Ю., Сосин А.А. Ғарыш аппараттары мен жүйелерін әзірлеу, өндіру, сынау және пайдалану // III ғылыми техн. Жас мамандар конф. ОАО «ИСС». – Железногорск, 2014. – 72-73 б.
3. Михайлов Е.М. Ғарыш аппараттарына арналған бұйымдардың шарикті мойынтіректеріндегі үйкеліс сәті // Электромеханика мәселелері. – 2014. – Т. 140. – 3-6 б.
4. Никифоров А.Н. Жылдам айналатын роторлардың тербелісі мен динамикалық тұрақтылығы мәселелері // Хабаршы ғылыми-техн. Даму. – 2010. – № 3 (31). – 31-53 б.
5. Леонтьев М.К., Карасев В.А., Потапова О.Ю., Дегтярев С.А. // Машиналардың дірілі: өлшеу, төмендету, қорғау. – 2006. – № 4 (7). – 40-45 б.

Қабылданды 3.11.2020

МРНТИ 55.18.19

С.Д. Капаева, А.Р. Бичева, А. Бахыт, А.Г. Кулагин

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА СВАРКИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

В настоящей статье рассматривается вопрос влияния способа сварки на прочностные характеристики сварного соединения. Дан анализ прочностных характеристик образцов, полученных методами ручной дуговой и полуавтоматической сварки, а также основного свариваемого металла. Критерием оценки являлся показатель предела прочности сварного соединения.

Осы мақалада пісіру қосылыстарының беріктік қасиеттеріне пісіру әдісінің ықпалы қарастырылады. Қолмен доғалық пісіру әдісімен және жартылай автоматты пісірілген үлгілердің және негізгі пісірілетін металлдың беріктік қасиеттерінің талдауы келтірілген. Бағалау критерийі ретінде пісіру қосылысының беріктік шегінің көрсеткіші болады.

This article discusses the issue of the influence of the welding method on the strength characteristics of the welded joint. An analysis of the strength characteristics of samples obtained by manual arc and semi-automatic welding methods, as well as the main welded metal, is given. The evaluation criterion was the tensile strength index of the welded joint.

Ключевые слова: сварное соединение, сталь 09Г2С, ручная дуговая сварка, полуавтоматическая сварка, предел прочности.

Исследование влияния способов сварки проводилось на промышленном объекте – металлургическом заводе ТОО «Казцинк» города Риддера при строительстве нового цеха пылеулавливания. Основным объектом исследований являлись соединения элементов полигональной стропильной фермы с треугольной решеткой со стойками, полученные методом стыковой сварки.

Для изготовления элементов полигональной стропильной фермы используется листовой прокат низколегированной стали марки 09Г2С. Стропильные фермы представляют собой несущие кровельные конструкции, функцией которых является передача ее веса и дополнительных нагрузок на стены. Сталь 09Г2С не перегревается и не закаливается в процессе сварки. Ее пластические свойства остаются на высоком уровне, а зернистость структуры не увеличивается. Все эти характеристики делают такой сплав идеальным для использования в сварных конструкциях. К тому же материал обладает высокой механической прочностью, долговечностью, широким диапазоном рабочей температуры (от -70°C до $+425^{\circ}\text{C}$) и отсутствием склонности к отпускной хрупкости.

Сварка является сложным электрофизическим процессом. Качество сварного соединения зависит от таких факторов, как: энергетические параметры – напряжение и ток дуги; вид сварки; тип сварного соединения; состав, давление и расход защитного газа, длина дуги, скорость сварки, теплофизические свойства и химический состав свариваемого материала [1].

Для исследования влияния способа сварки на прочностные характеристики сварного соединения были выбраны два наиболее распространенных вида сварки: ручная дуговая сварка (РДС) покрытыми электродами и полуавтоматическая сварка в углекислом газе. Качество сварного соединения зависит от следующих параметров: вид сварки; тип сварного соединения; сила тока I , А; напряжение U , В; скорость сварки v , мм/мин; коэффициент теплопроводности λ , Вт/(см $\cdot^{\circ}\text{C}$); объемная теплоемкость c_p , Дж/(см $^3\cdot^{\circ}\text{C}$); толщины материала S , мм; температура сварочной дуги T , $^{\circ}\text{C}$; начальная температура T_n , $^{\circ}\text{C}$; эффективная мощность источника теплоты q , Вт; мгновенная скорость охлаждения ω , $^{\circ}\text{C}/\text{с}$ [2].

В ТОО «Казцинк» полуавтоматическая сварка элементов сварной фермы осуществлялась на сварочном аппарате ПДГО-510 (рис. 1), совместно со сварочным выпрямителем ВДУ-506С.



Рисунок 1 – Полуавтоматический сварочный аппарат ПДГО-510

Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами элементов стропильной фермы использовали балластный реостат РБ-302 У2 (рис. 2) совместно со сварочным выпрямителем ВДУ-506С.



Рисунок 2 – Балластный реостат РБ-302 У2

Сварку стали 09Г2С способом РДС проводили с режимными параметрами, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Параметры процесса РДС

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род тока, полярность	Сварочный ток, А
Корневой	3,0	Постоянный, обратная полярность	90...120
Заполняющие	3,0; 4,0		120...150
Облицовочный	4,0		130...160

Сварку стали 09Г2С способом полуавтоматической сварки в среде углекислого газа проводили с режимными параметрами, приведенными в табл. 2.

Таблица 2

Параметры процесса полуавтоматической сварки в среде CO₂

Зазор, мм	Число проходов	Диаметр проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение сварки, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
1-3	3	1,2-1,6	380-450	33-42	15-25	18-25	12-16

Для более точного экспериментального определения зависимости прочностных характеристик от способа сварки были изготовлены образцы из стали 09Г2С в трех группах:

– I-я группа: образцы, выполненные из сварного соединения РДС покрытыми электродами; Число проходов – три; сила тока в пределах $I = 90-160$ А; исследуемый размер образца 700x150x12 мм (рис. 3, а);

– II-я группа: образцы, выполненные из сварного соединения полуавтоматической сваркой в среде CO₂; число проходов – три; сила тока в пределах $I = 380-450$ А; скорость сварки $V = 15-25$ м/ч; исследуемый размер образца 700x150x12 мм (рис. 3, б);

– III-я группа: для сравнительного анализа с исходным состоянием металла механическим путем на гильотине вырезан образец размером 700x150x12 мм (рис. 3, в).

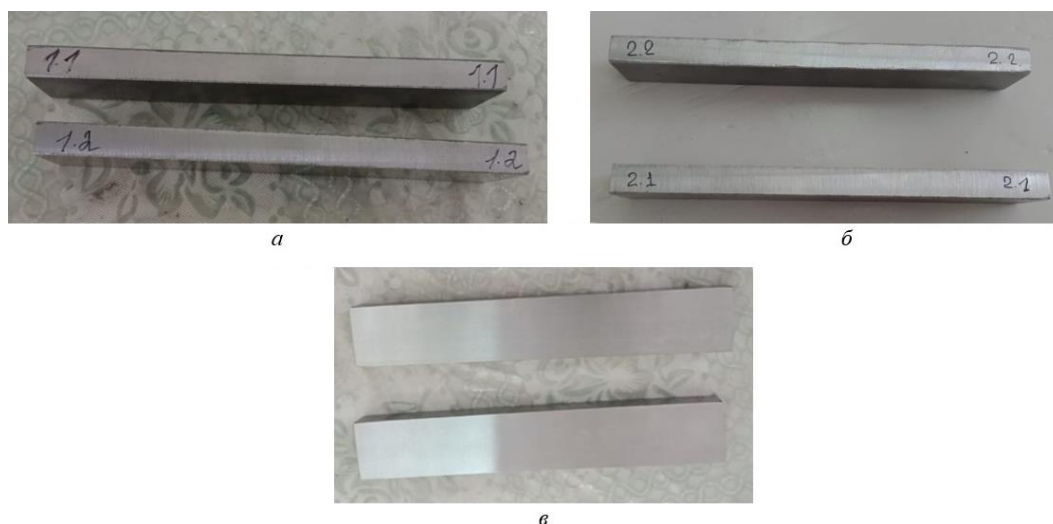


Рисунок 3 – Образцы из стали 09Г2С, принятые для исследования:
а) I-й группы; б) II-й группы; в) III-й группы

Экспериментальные исследования и механические испытания проводили в ЦМСЛ АО «ИМСТАЛЬКОН» города Алматы.

Наиболее распространенным и информативным способом определения механических характеристик материала является испытание на статическое растяжение. Результаты испытаний на статическое растяжение представлены в виде диаграмм деформирования в координатах $\sigma - \epsilon$, которые дают наглядное представление о поведении сварного соединения, значениях механических свойств в упругой и пластической областях. Исследование предела прочности стыкового сварного соединения осуществлялось косвенным методом, заключающемся в определении максимальной разрушающей силы, приложенной перпендикулярно к оси образца породы цилиндрической формы, в результате чего в образце возникают растягивающие напряжения и разрушают его в плоскости предельного сечения. При испытании сварного соединения на статическое растяжение определяли временное сопротивление наиболее слабого участка сварного соединения.

Оценка качества сварного соединения проводилась на образцах после сварки и заключалась в определении предела прочности на разрыв, в соответствии с рекомендуемой методикой по ISO 5173-81, на разрывной машине РМ 50.



Рисунок 4 – Процесс испытания образцов на предел прочности
на разрывной машине РМ 50 в соответствии с ISO 5173-81

Результаты испытаний на растяжение образцов представлены на рис. 5 в виде диаграммы деформации $\sigma - \epsilon$.

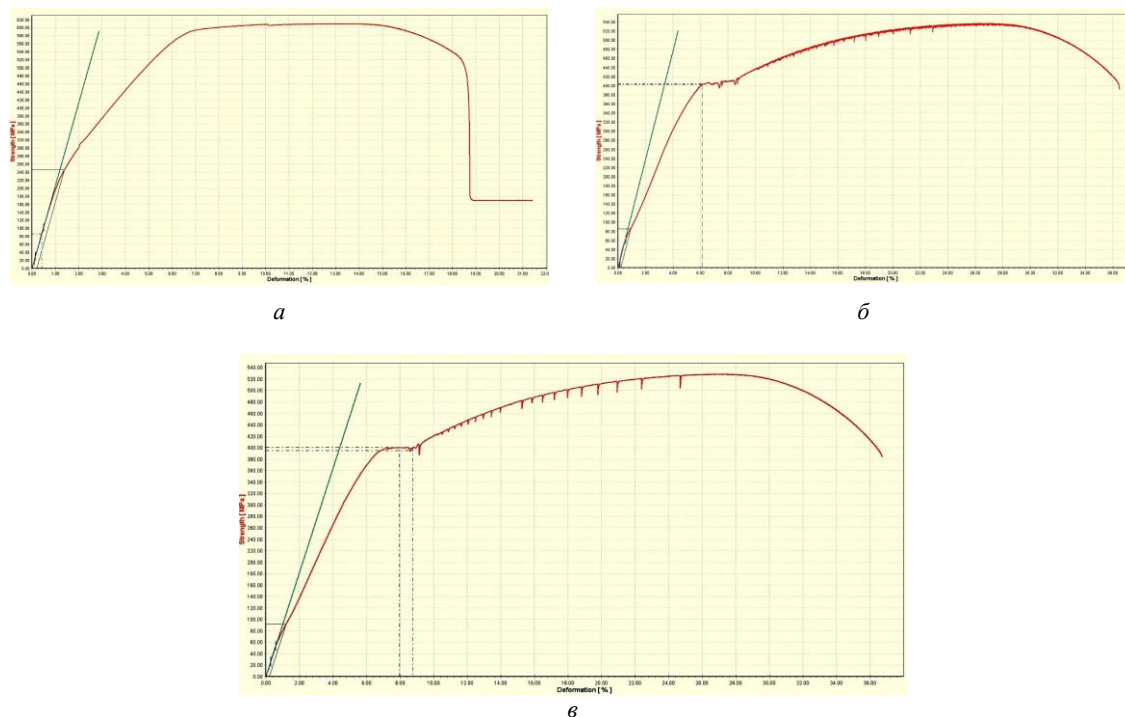


Рисунок 5 – Диаграммы деформаций $\sigma - \epsilon$ исследуемых образцов:
а) I-ой группы; б) II-ой группы; в) III-ей группы

По анализу полученных диаграмм испытанных образцов толщиной 12 мм из стали 09Г2С определены следующие значения предела прочности образцов: I-ой группы – 507 МПа; II-ой группы – 518 МПа; III-ей группы – 519 МПа. Эти параметры позволяют установить разницу между прочностными характеристиками образцов трех групп.

Таблица 3

Результаты теста на предел прочности

Группа	Ширина, мм	Толщина, мм	Площадь поперечного сечения мм ²	Предел прочности, МПа
I	20	12	240	507
II	20	12	240	518
III	20	12	240	519

Таким образом, исследования сварных соединений полученных различными способами металлических образцов из листовой стали 09Г2С, толщиной 12 мм показало, что способ сварки влияет на прочностные характеристики соединения из данного металла. Наиболее близким по показателю предела прочности с основным металлом является соединение способом полуавтоматической сварки. Полученные прочностные характеристики сварных соединений возможны при параметрах режимов и технологии: число проходов – три, сила тока в пределах $I = 380 - 450$ А, скорость сварки $V = 15 - 25$ м/ч. Более того, данная технология и режимы получения сварного соединения из стали 09Г2С позволит исключить трудоемкую операцию по термообработке.

Список литературы

1. Куркин С.А., Ховов В.М., Рыбачук А.М. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций. – М.: Машиностроение, 1989.
2. Чернышов Н.Г. Сварочное дело. – М.: Машиностроение, 2006.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 67.29.63

Д.В. Капский¹, Е.Н. Кот¹, С. В. Богданович¹, А.Г. Рыбинский², К.А. Ибраев³

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский дорожный научно-исследовательский институт, г. Минск, Республика Беларусь

³ТОО «Gold Products», г. Нур-Султан, Республика Казахстан

**АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ
НА ДОРОГАХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

В статье рассмотрены железнодорожные переезды на республиканских автомобильных дорогах Республики Казахстан. Проведены исследования направлений повышения безопасности движения на железнодорожных переездах. Приведены результаты изучения ситуации на железнодорожных переездах дорог республиканского значения, изучения возможных ограничений и нормативных требований, а также результаты детального сбора данных на объектах. Это послужит основанием для разработки детальной программы совершенствования нормативно-технической базы дорожного сектора Казахстана по совершенствованию безопасности дорожно-транспортной инфраструктуры с учетом существующих стандартов. Приведены некоторые рекомендации по внедрению и обобщению передового международного опыта по организации дорожного движения на железнодорожных переездах, что будет способствовать адаптации Республики Казахстан в условиях развития транспорта и коммуникаций.

Мақалада Қазақстан Республикасының Республикалық автомобиль жолдарындағы теміржол өткелдері қарастырылған. Теміржолдардағы қозғалыс қауіпсіздігін арттыру бағыттарына зерттеулер жүргізілді. Республикалық маңызы бар жолдардың темір жол өткелдеріндегі жағдайды зерделеу, ықтимал шектеулер мен нормативтік талаптарды зерделеу нәтижелері, сондай-ақ объектілерде деректерді егжей-тегжейлі жинау нәтижелері келтірілген. Бұл қолданыстағы стандарттарды ескере отырып, жол-көлік инфрақұрылымының қауіпсіздігін жетілдіру бойынша Қазақстанның жол секторының нормативтік-техникалық базасын жетілдірудің егжей-тегжейлі бағдарламасын әзірлеу үшін негіз болады. Темір жол өткелдерінде жол қозғалысын ұйымдастыру жөніндегі озық халықаралық тәжірибені енгізу және қорыту жөнінде кейбір ұсынымдар келтірілген, бұл көлік пен коммуникацияны дамыту жағдайында Қазақстан Республикасының бейімделуіне ықпал ететін болады.

The article deals with railway crossings on the Republican highways of the Republic of Kazakhstan. Research has been conducted on ways to improve traffic safety on Railways. The results of studying the situation at railway crossings of roads of national significance, studying possible restrictions and regulatory requirements, as well as the results of detailed data collection on objects are presented. This will serve as a basis for developing a detailed program to improve the regulatory and technical base of the road sector in Kazakhstan to improve the safety of road transport infrastructure, taking into account existing standards. Some recommendations are given for the implementation and generalization of international best practices in the organization of road traffic at railway crossings, which will contribute to the adaptation of the Republic of Kazakhstan to the development of transport and communications.

Ключевые слова: железнодорожные переезды, безопасность дорожного движения, обследование железнодорожных переездов.

Проблема гибели людей на железнодорожных переездах остается постоянной проблемой безопасности как на автомобильных, так и на железных дорогах. По статистическим данным каждый год на пересечениях автомобильных и железных дорог регистрируется 400 смертей в

среднем в Европейском Союзе и 300 смертей в среднем в США. Вот почему исследования транспортной системы на железнодорожных переездах требуют очень пристального внимания.

ДТП автомобилей с подвижным составом железных дорог приводят к наиболее тяжелым последствиям [1, 2, 3]. Многие железнодорожные переезды являются местами длительных задержек транспортных средств как до, так и после ДТП. В этом случае и во многих других пересечения автомобильных дорог с железнодорожными путями относятся к «узким» местам повышенной опасности, резко ограничивающим пропускную способность дороги. Железнодорожные переезды требуют самого пристального внимания службы организации дорожного движения, так как должны включать не только устройства для движения автомобилей, но также пешеходные и запасные пути [4, 5].

Нет сомнений в том, что железнодорожные переезды представляют собой ключевую проблему для исследователей и практиков в области безопасности дорожного движения и железнодорожного транспорта. Действительно, продолжающаяся частота травм на железнодорожных переездах недопустима и является серьезным предупреждением о том, что существующий подход к безопасности железнодорожных переездов не работает. Необходим новый подход.

По причине роста интенсивности движения поездов и транспортных средств через железнодорожные переезды, а также отсутствия единых требований к техническим средствам регулирования дорожного движения, по обустройству регулируемых переездов автоматическими устройствами ограждения переезда и установке на регулируемых и нерегулируемых переездах с высокой интенсивностью транспортного потока приборов фото- и видеофиксации нарушений правил проезда переездов и интеграцией их с процессинговыми центрами административной полиции, требуется принятие национального стандарта, включающего в себя комплекс мер по повышению уровня безопасности дорожного движения [6, 7, 8].

Разнообразие устройства и организации дорожного движения на железнодорожных пересечениях Казахстана не позволяет унифицировать современные имитационные модели. Необходимо провести широкоформатные исследования фактических решений и имеющихся недостатков, снижающих безопасность и пропускную способность транспорта, а также рассмотреть наиболее эффективные решения на действующих переездах [7,8]. С этой целью необходимо провести сбор данных на железнодорожных переездах на дорогах I-IV категорий республиканского значения. До настоящего времени детального анализа всех железнодорожных переездов с таких позиций не проводилось.

Общая характеристика железнодорожной сети. Дорожное движение на железнодорожных переездах Республики Казахстан регулируется Законом «О дорожном движении» [9] и Правилами дорожного движения [10]. Эксплуатация железнодорожных переездов осуществляется в соответствии с Правилами эксплуатации железнодорожных переездов [11].

Эксплуатационная длина железнодорожной сети Республики Казахстан на конец 2017 г. составляла 16040 км. Железнодорожные линии есть во всех 14 областях Республики Казахстан, а также на территории всех городов республиканского значения (Астана, Алматы, Шымкент).

Наибольшая протяженность железнодорожных линий на территории Карагандинской области (2467 км), наименьшая – в Западно-Казахстанской области (319 км).

Суммарная протяженность железнодорожных линий в 6 областях, включенных в дальнейшее исследование ж-д переездов, (Западно-Казахстанской, Атырауской, Туркестанской, Костанайской, Павлодарской, Восточно-Казахстанской) составляет 4881 км (30 % от общей эксплуатационной длины железных дорог Республики Казахстан). При этом большинство железнодорожных линий в Республике Казахстан однопутные (11140 км, 69 % от общей протяженности).

Доля электрифицированных железнодорожных линий составляет 26 % (4217 км), однако для двух- и многопутных линий этот показатель намного выше и составляет 77 % (3759 км из 4900 км). Почти 99 % электрифицированных линий работают на переменном токе, только на одном участке длиной 21 км используется постоянный ток напряжением 3000 В.

Характеристика железнодорожных переездов. Классификация железнодорожных переездов установлена Правилами [11].

На первом этапе в исследуемую группу ЖДП включены все переезды, расположенные на пересечениях республиканских автомобильных дорог и железнодорожных линий на территории 6 областей Республики Казахстан. Распределение ЖДП по 6 областям приведено на рис. 1.

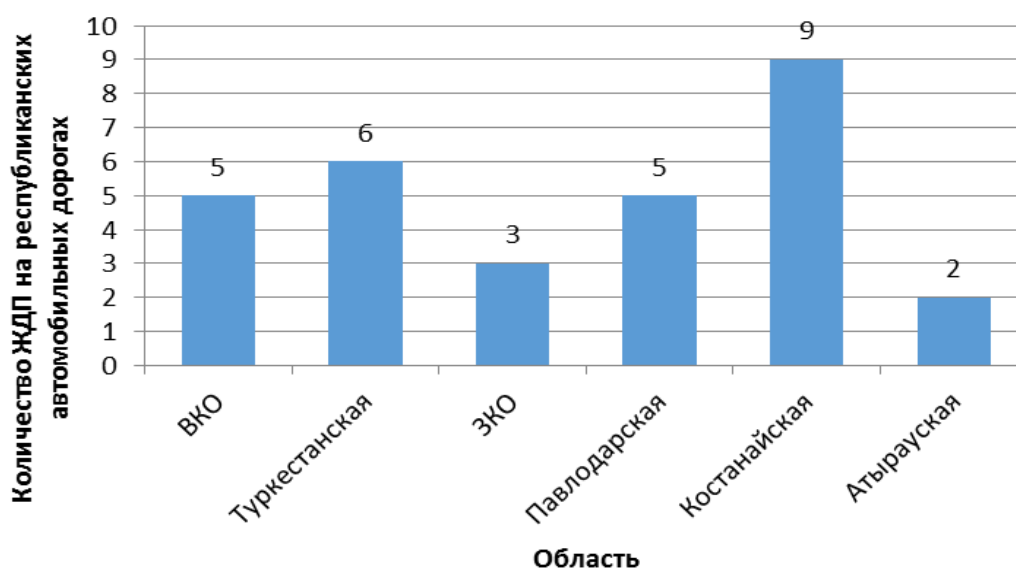


Рисунок 1 – Распределение исследуемых железнодорожных переездов по областям

Неохраняемыми являются 79 % переездов, охраняемыми – 21 %.

К 1-й категории отнесен 1 ЖДП (3 %), к 2-й категории – 4 ЖДП (14%), к 3-й категории – 13 ЖДП (45 %), к 4-й категории – 11 ЖДП (38 %).

В классификации дорожно-транспортных происшествий, применяемой в Республике Казахстан, отсутствует отдельная категория «ДТП с участием железнодорожного транспортного средства» [12] (например, в Республике Беларусь такая категория ДТП выделяется). ДТП, зафиксированные на ЖДП, относятся к категории «Прочие (иные) ДТП» и отдельно среди других ДТП в этой категории не выделены. В результате, из статистических данных о дорожной аварийности в Республике Казахстан, предоставленных для анализа, никакая информация о ДТП на железнодорожных переездах не может быть извлечена.

В связи с этим, направлены запросы в областные филиалы предприятия «Казахавтодор», а также в областные подразделения дорожной полиции с целью выявления дорожно-транспортных происшествий, произошедших на железнодорожных переездах. В последующем будет составлена статистика в соответствии с рекомендациями ЕЭК ООН.

Для каждого из переездов для дальнейшей аналитической работы требуется информация по ЕЭК ООН, состоящая из данных более 30 позиций. Как видно, количество исходных данных достаточно велико.

Обработка собранной информации показала, что даже минимальный набор данных в ряде случаев собрать не представлялось возможным. Всего минимальный набор данных был собран по 69 % переездов. Для 24 ЖДП отсутствуют данные по большинству параметров, включая основные (категорию, наличие охраны). Распределение таких ЖДП по областям приведено на рис. 2.

На большей части железнодорожных переездов (32 шт.) устроен железобетонный настил. На 17 переездах применяются относительно редкие (от 2 до 8) варианты настилов – из рельсов, шпал, металлических конструкций, из дерева. Современный резинометаллический настил устроен только на 3 переездах.

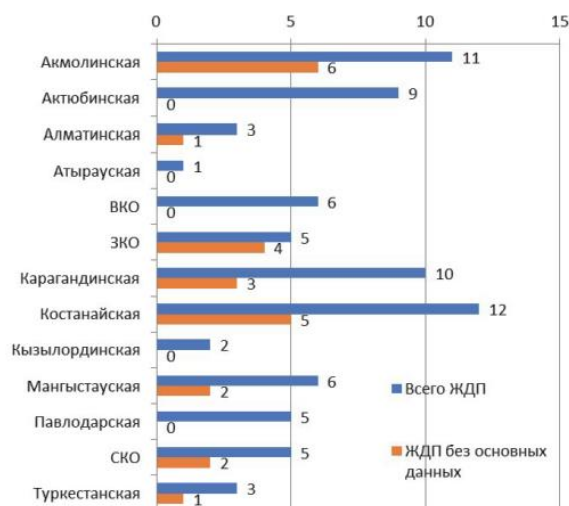


Рисунок 2 – Распределение по областям железнодорожных происшествий с отсутствием части данных

На рис. 3 приведены общие данные о количестве ДТП на всех железнодорожных переездах Республики Казахстан (включая республиканские и местные автомобильные дороги) и пострадавших в них за 2011- 2016 гг.

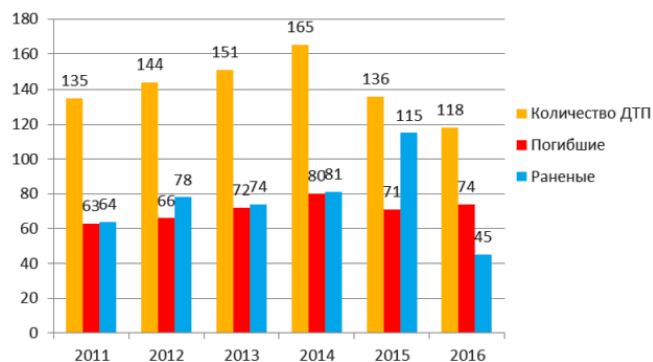


Рисунок 3 – Изменение общих показателей аварийности на всех железнодорожных переездах Республики Казахстан

Следует обратить особое внимание на необходимость регулярного сбора качественных исходных данных по железнодорожным переездам. Без их наличия любой вид деятельности, рассчитанный на повышение безопасности на переездах, не принесет нужных результатов.

Оценка возможности сохранения железнодорожного переезда на республиканской автомобильной дороге Республики Казахстан. Наиболее радикальным способом устранения ДТП на железнодорожных переездах является ликвидация самого переезда. К сожалению, данный способ очень часто является неосуществимым в силу многих причин. Часто одной из таких причин является недостаточность информации и отсутствие необходимой методики принятия решения. Нами был разработан алгоритм экспертной оценки возможности сохранения железнодорожного переезда на республиканской автомобильной дороге Республики Казахстан. Алгоритм включает 11 основных шагов.

Шаг 1. Оценка категории железнодорожного переезда. Для ЖДП категорий 1 и 2 дальнейшее их сохранение не допускается. Для переездов категорий 3 и 4 проверяются дальнейшие критерии.

Шаг 2. Оценка категории автомобильной дороги. На автомобильных дорогах категорий I и II сохранение ЖДП не допускается. Для автомобильных дорог категорий III, IV, V проверяются дальнейшие критерии.

Шаг 3. Оценка количества полос движения на автомобильной дороге. При количестве полос больше 2 сохранение ЖДП не допускается. При двух полосах проверяются дальнейшие критерии.

Шаг 4. Оценка количества железнодорожных путей на переезде. При количестве путей больше 2 сохранение ЖДП не допускается. При двух путях сохранение ЖДП, как правило, не допускается. При одном пути проверяются дальнейшие критерии.

Шаг 5. Оценка категории железнодорожной линии. Для ЖДП на магистральной железнодорожной линии проверяются дальнейшие критерии. Для подъездного железнодорожного пути ЖДП может быть сохранен.

Шаг 6. Оценка наличия электрификации на железнодорожной линии. При наличии электрификации ЖДП, как правило, не допускаются. При отсутствии электрификации проверяются дальнейшие критерии.

Шаг 7. Оценка альтернативных возможностей для пересечения железнодорожной линии. При наличии путепровода или тоннеля для пересечения железнодорожной линии на расстоянии менее 1 км в населенном пункте или менее 2 км вне населенного пункта ЖДП не допускаются. При больших расстояниях между ЖДП и путепроводом (тоннелем) проверяются дальнейшие критерии.

Шаг 8. Оценка показателей аварийности на конкретном ЖДП. При значении показателя больше среднего значения для всех ЖДП на республиканских дорогах сохранение ЖДП не допускается. При значении показателя ниже или равного среднему значению для всех ЖДП на республиканских дорогах проверяются дальнейшие критерии.

Шаг 9. Оценка условий движения на конкретном ЖДП. При количестве нарушений ПДД или конфликтных ситуаций в зоне ЖДП выше установленного допустимого значения сохранение ЖДП не допускается. При значении показателя ниже или равного допустимому среднему значению проверяются дальнейшие критерии.

Шаг 10. Оценка экономических потерь в дорожном движении от задержек дорожных транспортных средств на конкретном ЖДП. При уровне экономических потерь в зоне ЖДП выше установленного значения сохранение ЖДП не допускается. При значении показателя ниже или равного допустимому среднему значению проверяются дальнейшие критерии.

Шаг 11. Оценка экологических потерь в дорожном движении от задержек дорожных транспортных средств на конкретном ЖДП. При уровне экологических потерь в зоне ЖДП выше установленного значения (отдельно – для населенного пункта, отдельно – для незастроенной территории) сохранение ЖДП не допускается. При значении показателя ниже или равного допустимому среднему значению ЖДП может быть сохранен.

Как видно из описания алгоритма, важное значение в его использовании играет наличие исходных данных.

Выводы. ДТП автомобилей с подвижным составом железных дорог приводят к наиболее тяжелым последствиям. Многие железнодорожные переезды являются местами длительных задержек транспортных средств как до, так и после ДТП. В этом случае и во многих других пересечения автомобильных дорог с железнодорожными путями резко ограничивают пропускную способность автомобильной дороги. Железнодорожные переезды требуют самого пристального внимания службы ОДД, так как должны включать не только устройства для движения автомобилей, но также пешеходные и запасные пути.

Несмотря на то, что проблема дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах не является новой, во всем мире продолжают исследования и анализы статистики в этой области. Это связано с необходимостью привлечения к проблеме внимания политиков и общественности, а также с необходимостью анализа результативности мер, принимаемых по повышению безопасности на переездах, и выработки новых подходов.

В процессе работ выполнен сбор имеющихся исходных данных по железнодорожным переездам на автомобильных дорогах Республики Казахстан в Западно-Казахстанской, Атырауской, Туркестанской, Костанайской, Павлодарской, Восточно-Казахстанской областях.

Приведена общая характеристика железнодорожной сети Республики Казахстан, характеристика железнодорожных переездов в Республике Казахстан и их классификация. Дана характеристика исследуемой группы железнодорожных переездов. Выполнена оценка безопасности движения на

железнодорожных переездах. Сформулирована методика детального исследования железнодорожных переездов и основные требования к приведению анализа с учетом тенденций электрификации магистральной железнодорожной сети.

Список литературы

1. Капский Д.В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении: монография / Д. В. Капский. – Минск: БНТУ, 2008. – 243 с.
2. Капский Д.В. Повышение безопасности движения на пересечениях автомобильных дорог с железнодорожными путями / Д.В. Капский, Е.Н. Кот, Д. В. Рожанский; С.Н. Карасевич // Вестник БелГУТ: Наука и транспорт. – Гомель, 1(10)2005. – С. 28-31.
3. Врубель Ю.А. Опасности в дорожном движении / Ю.А. Врубель, Д.В. Капский. – Москва: Новое знание, 2013. – 244 с.
4. Врубель Ю.А. Определение потерь в дорожном движении / Ю.А. Врубель, Д.В. Капский, Е.Н. Кот. – Мн.: РИО БНТУ, 2006. – 252 с.
5. Капский Д.В. Организация движения на пересечениях автомобильных и железных дорог / Д.В. Капский, Е.Н. Кот, Д. В. Рожанский; С.Н. Карасевич // Дороги и мосты: Сб. науч. ст. – Киев: Государственный дорожный научно-исследовательский институт им. М.П. Шульгина, Служба автомобильных дорог Украины (Укравтодор). – 2006. – Вып. 4. – С. 337-346.
6. Капский Д.В. Совершенствование организации движения на железнодорожных переездах Республики Беларусь / Д.В. Капский, Е.Н. Кот, Д.В. Рожанский, С.Н. Карасевич // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: Материалы XII междунар. научно-практ. конф. – Екатеринбург: АМБ, 2006. – С. 107-112.
7. Капский Д.В. Пересечение автомобильных дорог с железнодорожными путями / Д.В. Капский, Е.Н. Кот, Д.В. Рожанский, С.Н. Карасевич // Вестник БНТУ. – Минск, 3'2006. – С. 65-68.
8. Капский Д.В. Аудит безопасности дорожного движения [монография] / Д.В. Капский, С.А. Аземша [и др.]; науч. ред. Д.В. Капский / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015 – 428 с.
9. О дорожном движении [Электронный ресурс]: Закон Республики Казахстан от 17 апреля 2014 года №194-V ЗРК: с изм. и доп. по сост. на 01.01.2019. – Режим доступа: ИПС Әділет.
10. Правила дорожного движения [Электронный ресурс]: утв. Постановлением Правительства Республики Казахстан от 13 ноября 2014 года №1196: с изм. и доп. по сост. на 01.01.2019. – Режим доступа: ИПС Әділет.
11. Правила эксплуатации железнодорожных переездов [Электронный ресурс]: утв. Приказом Министра транспорта и коммуникаций Республики Казахстан от 25 марта 2011 года №168: с изм. и доп. по сост. на 30.06.2017. – Режим доступа: ИПС Әділет.
12. Об утверждении формы статистического отчета «О дорожно-транспортных происшествиях, повлекших гибель или ранение людей» и Инструкции по его формированию [Электронный ресурс]: утв. Приказом Генерального Прокурора Республики Казахстан от 16 ноября 2015 года №131: с изм. и доп. по сост. на 26.09.2017. – Режим доступа: ИПС Әділет.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 53.03.03.

B.S. Kelamanov, A.M. Akuov, E.U. Zhumagaliev, E.K. Samuratov, Zh.A. Turganbay
K. Zhubanov Aktobe regional state university, Aktobe, Kazakhstan

MODELING AND ANALYSIS OF THERMODYNAMIC PROCESSES IN Fe-Mn-Si AND Fe-Mn-C SYSTEMS

The article deals with the study of thermodynamic calculations using the «Terra» software package for the Fe-Mn-Si and Fe-Mn-C system. The characteristics of various existing phases, contents, and their dynamics of change at various temperatures were investigated.

Мақалада Fe-Mn-Si және Fe-Mn-C жүйесі үшін «Terra» кешенді бағдарламасын қолдану арқылы термодинамикалық есептерді зерттеу сұрақтары қарастырылған. Әртүрлі температуралардағы фазалардың мінездемесі, құрамы және өзгеріс динамикасы зерттелді.

В статье рассмотрены вопросы исследования термодинамических расчетов с использованием программного комплекса «Терра» для системы Fe-Mn-Si и Fe-Mn-C. Были исследованы характеристики разных существующих фаз, содержания, и их динамика изменения при различных температурах.

Keywords: *thermodynamic calculations, thermodynamic modeling, diagram, recovery, condensed phases.*

In the practice of complex theoretical studies of multicomponent systems, the so-called thermodynamic-diagram method of analysis is known, which greatly simplifies the study of the features of phase transformations in multicomponent systems by dividing them into thermodynamically stable elementary partial subsystems of the same dimension as the main one. The thermodynamic-diagram analysis combines the thermodynamic assessment of the chemical interaction of the components in the system under study with a geometric diagram. Such a combination, as shown by studies of the physicochemical foundations of the production of refractory ferroalloys [1].

The involvement of this method in the study of multicomponent systems allows us to determine the final phase regions that are optimal for a particular technology. Each identified quasisystem has only its inherent laws of formation of solid solutions and changes in properties, while the appearance of other phases is thermodynamically excluded in them. In the article, using the «Terra» software package, a thermodynamic analysis of the individual subsystems making up the four-component Fe-Mn-Si-C system was carried out.

To calculate the phase composition of any multicomponent systems within the Fe-Mn-Si-C diagram, a graphical method can be used. When applying a coordinate grid to a given tetrahedron, one can determine the phase composition. Mathematical methods for such calculations are also proposed. They are the only possible for 5 or more component systems, when the use of the graphical method is impossible.

A fairly simple and accurate method for deriving equations for calculating the phase composition of oxide systems was proposed by Professor A. Akberdin. It is based on the balance of the distribution of the initial oxides over the phases formed [2, 3]. Full thermodynamic analysis of systems based on iron, oxygen and carbon was performed by V. Malyshev and Simbinov R.Zh. in [4]. In this work, the widely used method of complete thermodynamic analysis of multicomponent systems in combination with thermodynamic-diagram analysis based on Gibbs concentration triangles was first supplemented by an expansive expression of the stoichiometry of the reactions under study. This allowed us to resolve the contradictions that arise between the equilibrium composition of individual sections in triangles and the standard record of the stoichiometries of the corresponding reactions.

The most detailed study of coexisting condensed phases requires additional thermodynamic calculations; using such calculations, it is possible to determine the distribution of the elements that make up the final phase regions over existing phases. To obtain such information is possible in two ways: experimental methods or using thermodynamic modeling. Experimental methods are extremely time-consuming and require a lot of time for their implementation and interpretation (especially for multi-component systems). In this regard, thermodynamic modeling methods are preferable provided that the calculated results are controlled by experiment. Therefore, in the framework of this work, using the «Terra» software package, we performed a thermodynamic analysis of individual subsystems that make up the four-component Fe-Mn-Si-C system. The «Terra» software package provides the «Triangle» interface, with which you can build the entire phase complex for condensed phases in one cycle.

The «Triangle» program provides a special way to set the initial data, when for each of the three initial substances the enthalpy of the initial state (formation enthalpy) is additionally set. In this charting mode, temperature is a definable quantity. Using the «Triangle» program, we constructed diagrams of the Fe-Mn-Si and Fe-Mn-C triple phase systems at temperatures of 1473, 1673, 1873, and 2073K. The results are shown in figures 1-2.

According to the results of calculations on the «Terra» software package in the Fe-Mn-Si system (up to a temperature of 1473K), 16 regions with different concentrations were determined (table 1). The most predominant by volume are phase regions: $\text{MnSi}_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$ - (45%), $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$ - (15 %), $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Mn}_{(c)}$ - (12 %), $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Mn}_{(c)}$ - (8 %), $\text{Mn}_5\text{Si}_{3(c)}$, $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$ - (7 %), $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Mn}_5\text{Si}_{3(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$ - (6 %) and $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_5\text{Si}_{3(c)}$ - (5 %) (figure 1, a).

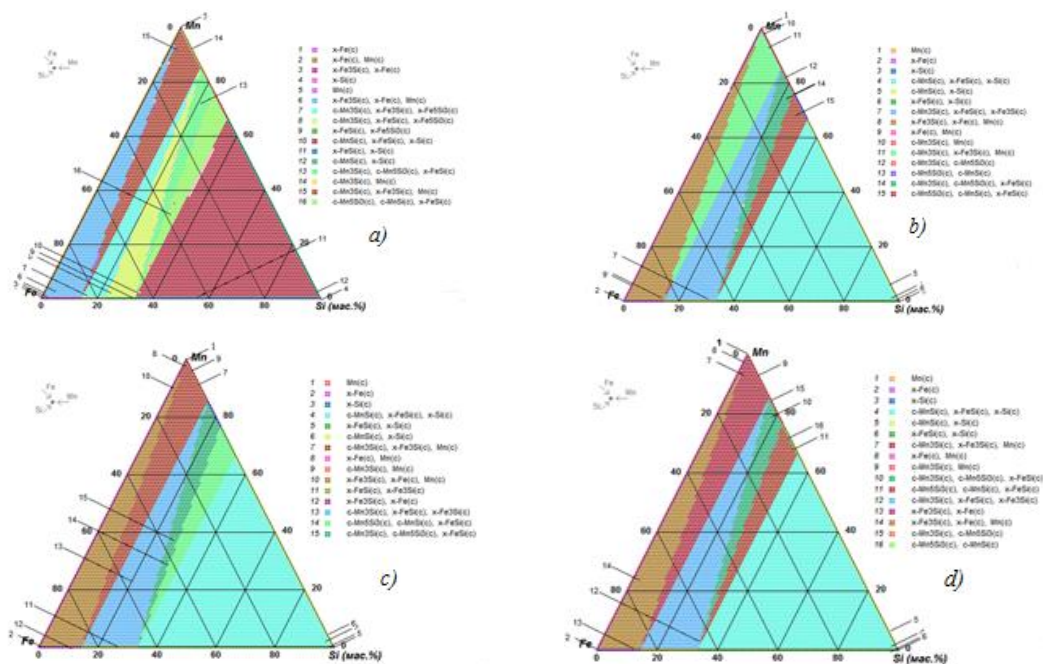


Figure 1 – Phase composition diagram of the Fe-Mn-Si ternary system at temperatures: 1473K (a), 1673K (b), 1873K (c), 2073K (d)

Thermodynamic calculations showed a number of regions (15) in the Fe-Mn-Si system (up to a temperature of 1673K) with different concentrations by content (table 1).

Table 1

The number of phase regions in the Fe-Mn-Si system at various temperatures

Phases	1473K	1673K	1873K	2073K
	Content, %			
Fe _(c)	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
Fe _(c) , Mn _(c)	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
Fe ₃ Si _(c) , Fe _(c)	up to 2	-	up to 2	up to 2
Si _(c)	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
Mn _(c)	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
Fe ₃ Si _(c) , Fe _(c) , Si _(c)	15	-	-	-
Mn ₃ Si _(c) , Fe ₃ Si _(c) , Fe ₅ Si _{3(c)}	5	-	-	-
Mn ₃ Si _(c) , Fe ₃ Si _(c) , Fe ₅ Si _{3(c)}	up to 2	-	-	-
FeSi _(c) , Fe ₅ Si _{3(c)}	up to 2	-	-	-
MnSi _(c) , FeSi _(c) , Si _(c)	45	45	45	45
FeSi _(c) , Si _(c)	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
MnSi _(c) , Si _(c)	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
Mn ₃ Si _(c) , Mn ₅ Si _{3(c)} , FeSi _(c)	6	5	5	4
Mn ₃ Si _(c) , Mn _(c)	8	up to 2	up to 2	up to 2
Mn ₃ Si _(c) , Fe ₃ Si _(c) , Mn _(c)	12	13	13	10
Mn ₅ Si _{3(c)} , Mn ₃ Si _(c) , FeSi _(c)	7	7	7	-
Mn ₃ Si _(c) , FeSi _(c) , Fe ₃ Si _(c)	-	15	15	20
Fe ₃ Si _(c) , Fe _(c) , Mn _(c)	-	13	13	14
Mn ₃ Si _(c) , Mn ₅ Si _{3(c)}	-	up to 2	-	up to 2
Mn ₅ Si _{3(c)} , MnSi _(c)	-	up to 2	up to 2	up to 2
FeSi _(c) , Fe ₃ Si _(c)	-	-	up to 2	-
Mn ₅ Si _{3(c)} , MnSi _(c) , FeSi _(c)	-	-	-	5

The most predominant in volume are such phase regions as: $\text{MnSi}_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$ – (45 %), $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$ – (15 %), $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Mn}_{(c)}$ – (13 %), $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Mn}_{(c)}$ – (13 %), $\text{Mn}_5\text{Si}_3_{(c)}$, $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$ – (7 %) and $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Mn}_5\text{Si}_3_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$ – (5 %) (figure 1, b).

For a comparative analysis of theoretical results at high temperatures, the Fe-Mn-Si system was studied up to a temperature of 1873 and 2073K using the «Terra» software package. The results of calculations in the Fe-Mn-Si system (up to a temperature of 1873K) revealed 15 regions with different contents (table 1). The most predominant in volume are phase regions such as: $\text{MnSi}_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$ – (45 %), $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$ – (17 %), $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Mn}_{(c)}$ – (12 %), $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Mn}_{(c)}$ – (11 %), $\text{Mn}_5\text{Si}_3_{(c)}$, $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$ – (8 %) and $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Mn}_5\text{Si}_3_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$ – (5 %) (figure 1, c).

Similar thermodynamic results were shown by the Fe-Mn-Si system up to a temperature of 2073K with 16 regions (table 1). The most predominant in volume are phase regions: $\text{MnSi}_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$ – (45 %), $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$ – (20 %), $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Mn}_{(c)}$ – (14 %), $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Mn}_{(c)}$ – (10 %), $\text{Mn}_5\text{Si}_3_{(c)}$, $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$ – (5 %) and $\text{Mn}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Mn}_5\text{Si}_3_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$ – (4 %) (figure 1, d).

The next investigated ternary system (Fe-Mn-C) to a temperature of 1473K is determined by 10 regions with different concentrations of content (table 2). The most predominant in volume is phase regions: $\text{Mn}_{23}\text{C}_{6(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (92 %), $\text{Mn}_{23}\text{C}_{6(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (3 %) and $\text{Mn}_{23}\text{C}_{6(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Mn}_{(c)}$ – (3 %) (figure 2, a).

With increasing temperature, the results of the formation of phases in the Fe-Mn-C system (up to a temperature of 1673K) do not change (10 regions). The most predominant in volume are phase regions: $\text{Mn}_{23}\text{C}_{6(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (93 %), $\text{Mn}_{23}\text{C}_{6(c)}$, $\text{Mn}_{(c)}$ – (3 %), and $\text{Mn}_{23}\text{C}_{6(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Mn}_{(c)}$ – 3 % (figure 2, b).

For a comparative analysis of theoretical results, the Fe-Mn-C system was studied on the «Terra» software package up to a temperature of 1873 and 2073K. The calculation results in the Fe-Mn-C system (up to a temperature of 1873K) show 8 regions with different concentrations (table 2). The most predominant in volume are phase regions: $\text{C}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (92 %), $\text{Mn}_{23}\text{C}_{6(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Mn}_{(c)}$ – (3 %) and $\text{Mn}_{23}\text{C}_{6(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (3 %) (figure 2, c).

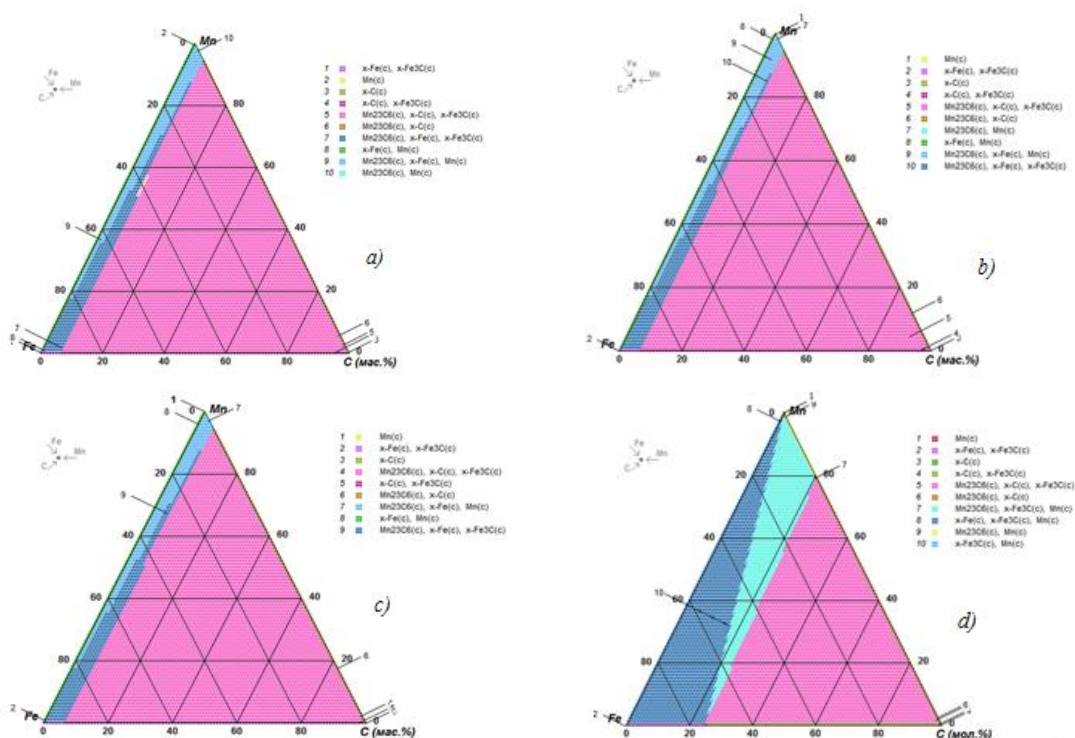


Figure 2 – Phase composition diagram of the ternary Fe-Mn-C system at temperatures: 1473K (a), 1673K (b), 1873K (c), 2073K (d)

Table 2

The number of phase regions in the Fe-Mn-C system at various temperatures

Phases	1473K	1673K	1873K	2073K
	Content, %			
Fe _(c) , Fe ₃ C _(c)	up to 2	up to 2	3	up to 2
Mn _(c)	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
C _(c)	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
C _(c) , Fe ₃ C _(c)	up to 2	up to 2	92	up to 2
Mn ₂₃ C _{6(c)} , C _(c) , Fe ₃ C _(c)	92	93	up to 2	50
Mn ₂₃ C _{6(c)} , C _(c)	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
Mn ₂₃ C _{6(c)} , Fe _(c) , Fe ₃ C _(c)	3	up to 2	up to 2	-
Fe _(c) , Mn _(c)	up to 2	up to 2	-	-
Mn ₂₃ C _{6(c)} , Fe _(c) , Mn _(c)	3	2	3	-
Mn ₂₃ C _{6(c)} , Mn _(c)	up to 2	3	-	up to 2
Mn ₂₃ C _{6(c)} , Fe ₃ C _(c) , Mn _(c)	-	-	-	23
Fe _(c) , Fe ₃ C _(c) , Mn _(c)	-	-	-	25
Fe ₃ C _(c) , Mn _(c)	-	-	-	up to 2

Using thermodynamic modeling in the Fe-Mn-C system (up to a temperature of 2073K), 10 regions with different contents were determined (table 2). The most predominant in volume are phase regions: Mn₂₃C_{6(c)}, C_(c), Fe₃C_(c) – (50 %), Fe_(c), Fe₃C_(c), Mn_(c) – (25 %) and Mn₂₃C_{6(c)}, Fe₃C_(c), Mn_(c) – (23 %) (figure 2, d).

An analysis of the results shows that, according to the composition and number of phases formed, the field of the diagram in the temperature range 1473-2073K is divided into several regions. In the Fe-Mn-Si system, in the temperature range 1473-2073K, the phases formed do not change with increasing temperature. The main existing phases: MnSi_(c), FeSi_(c), Si_(c); Mn₃Si_(c), FeSi_(c), Fe₃Si_(c); Fe₃Si_(c), Fe_(c), Mn_(c); Mn₃Si_(c), Fe₃Si_(c), Mn_(c). Only some phases of Mn₃Si_(c), FeSi_(c), Fe₃Si_(c) и Fe₃Si_(c), Fe_(c), Mn_(c) change the content with increasing temperature in the minimum characteristics.

The processed results of thermodynamic analysis in the Fe-Mn-C system are detailed with indication of changing phases. With increasing temperature, the phase Mn₂₃C_{6(c)}, C_(c), Fe₃C_(c) decomposes into two phases Mn₂₃C_{6(c)}, Fe₃C_(c), Mn_(c) and Fe_(c), Fe₃C_(c), Mn_(c). From the above data (table 2), the content of the main existing ones remains unchanged.

The use of thermodynamic modeling in predicting metallurgical processes occurring in high-temperature areas in Fe-Mn-Si and Fe-Mn-C systems allowed us to establish the mechanism of the main chemical reactions and determine the real stoichiometric ratio of the reactions and show the correct recording of the reaction based on the observance of phase equilibrium conditions in system. The results obtained provide the basis for compiling a specific material balance for the smelting of iron-manganese alloys and the ability to control the composition of the alloy.

List of used literature

1. Габдуллин Т.Г., Такенов Т.Д., Байсанов С.О., Букетов Е.А. Физико-химические свойства марганцевых шлаков. – Алматы: Наука, 1984. – 232 с.
2. Акбердин А.А. Балансовый метод расчета равновесного фазового состава многокомпонентных систем // КИМС. – 1995. – №3. – С. 92-93.
3. Акбердин А.А., Саркенов К.З., Саитов Р.И. Аналитическое описание фазового равновесия в системе CaO-SiO₂-FeO-ZnO // Вестник Карагандинского университета. – Караганда. – 2005. – №1(37). – С. 14-18.
4. Симбинов Р.Д., Малышев В.П. Термодинамическое, стехиометрическое и эксергетическое моделирование фазовых равновесий. – Алматы: Гылым, 1999. – 100 с.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 55.09.35

Т.Б. Курмангалиев, Д.С. Кابدуллина

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОРОШКОВ НЕРЖАВЕЮЩИХ И ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ РАСПЛАВОВ

Современный этап развития материаловедения характеризуется появлением новых материалов с уникальными свойствами. Ярким примером состояния материаловедения всегда было авиастроение, где новые материалы появлялись в первую очередь, а затем находили применение не только в других отраслях промышленности, но и в медицине, спорте.

Материалтану ғылымының қазіргі даму кезеңі ерекше қасиеттері бар жаңа материалдардың пайда болуымен сипатталады. Материалтану жағдайының жарқын мысалы әрқашан әуе кемесінің құрылысы болды, онда ең алдымен жаңа материалдар пайда болды, содан кейін тек басқа салаларда ғана емес, сонымен қатар медицина мен спортта да қолданыла бастады.

The modern stage of development of materials science is characterized by the emergence of new materials with unique properties. A striking example of the state of materials science has always been aircraft construction, where new materials appeared first of all, and then found application not only in other industries, but also in medicine and sports.

Ключевые слова: Сталь, напыление, порошки, материалы, шликерное литье, пористость, структура, лазерное спекание, фракция.

Объектом исследования были порошки сплавов 12X18H10T и ХН67МВТЮ, полученные газодинамическим распылением расплавов на установке VIGA 2B (ALD, Германия). Для исследований структуры и свойств порошков разных фракций применены методы электронной микроскопии, металлографии, седиментации, рентгенофазового и энергодисперсионного анализов, томографии, химического и других методов анализа. Порошки обладают сферической формой, низким содержанием примесей, текучестью и могут быть использованы для получения изделий методом селективного лазерного спекания, шликерного литья, инъекционного формования, нанесения покрытий плазменным спеканием.

Современный этап развития материаловедения характеризуется появлением новых материалов с уникальными свойствами. Ярким примером состояния материаловедения всегда было авиастроение, где новые материалы появлялись в первую очередь, а затем находили применение не только в других отраслях промышленности, но и в медицине, спорте. Новый уровень развития авиации специалисты связывают только с принципиально новыми материалами и технологиями, так как традиционные уже исчерпали себя, и важнейшей задачей считают разработку стратегических направлений развития материалов для различных отраслей промышленности и технологий их переработки на долгосрочный период времени [1, 2]. Разработка новых материалов сопровождается одновременным развитием технологий их изготовления, обеспечивающих не только необходимый комплекс улучшенных характеристик, но и экономическую целесообразность производства. Одним из перспективных направлений за счет высокого коэффициента использования материала и прочности, не уступающей литым сплавам, стало изготовление изделий из порошков методом селективного лазерного сплавления [3]. Существующие методы производства порошков или недостаточно производительны, или не обеспечивают нужных свойств порошкам.

Получение порошков высоколегированных сплавов специального назначения, пригодных для использования не только в аддитивных технологиях, но и в других (например, шликерное литье, инъекционное формование [4, 5, 6]), является актуальной задачей современного материаловедения. К порошкам для вышеперечисленных технологий, кроме определенного фракционного состава, предъявляется еще ряд требований: высокая чистота по неметаллическим примесям (особенно поверхностного слоя), обуславливающим консолидацию при спекании; сферическая форма частиц, обеспечивающая текучесть и высокую насыпную плотность, которые гарантируют плотность укладки частиц при спекании порошков; отсутствие внутренней пористости, приводящей к снижению прочностных характеристик и многие другие [3-6].

Известно, что свойства порошков определяются методами их получения [6, 7]. Один из современных способов получения порошков сплавов с требуемыми характеристиками – высокоскоростное распыление расплавов. Однако экспериментальных данных, связывающих параметры диспергирования со свойствами полученных порошков, к настоящему моменту накоплено еще недостаточно, тем более что относятся они к установкам с различающимися паспортными данными.

Цель работы – исследование структурно-фазового состава, микроструктуры, физических, химических, технологических свойств порошков, полученных из сплавов 12X18H10T и ХН67МВТЮ. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- исследование структурного, фазового, элементного состава в зависимости от размера фракции;
- исследование размеров и формы частиц в зависимости от размера фракции;
- исследование зеренной структуры в зависимости от размера фракции;
- исследование пористости частиц различных размеров;
- определение текучести порошков в зависимости от размера фракции.

Распыление сплавов производили на установке VIGA 2B (ALD, Германия), позволяющей получать порошки металлов и сплавов с температурой плавления до 1700 °С с размерами 30-80 мкм, низким содержанием кислорода и азота: никелевые жаропрочные сплавы (In718, Rene88) для порошковых деталей авиационных и стационарных турбин, сплавы на основе кобальта для использования в медицине, стоматологии и производстве мишеней ионного распыления, высоколегированные стали (инструментальные, быстрорежущие) с очень высоким содержанием карбидов.

Диспергирование сплава 12X18H10T производили при температуре 1600 °С, расход аргона 863-911 м³/ч, расход сплава 7,51 кг/мин. Диспергирование ХН67МВТЮ производили при температуре 1570°С, расход аргона 600-1030 м³/ч, расход сплава 6,12 кг/мин.

Содержание N₂, H₂, O₂ определяли на анализаторах Flash 2000 и АК-7716 (ГОСТ 17145-90, 27417-87); содержание легирующих элементов – на рентгеновском энергодисперсионном спектрометре «EDX 800HS Shimadzu» (ГОСТ 18895-81); морфологию частиц, внутреннюю пористость, микроструктуру исследовали на рентгеновском томографе ХТН 225 ST и оптическом микроскопе «Axiovert 40 MAT» (ГОСТ 23402-78, 25849-81, 1778-70), данные обрабатывали с помощью программы «ВидеоТест 4»; гранулометрический состав определяли ситовым методом (ГОСТ 18318-94), а также на сканирующем фотоседиментографе СФ-2 и лазерном анализаторе размера частиц «Analyzette 22 NanoTec» (ГОСТ 2266-77); фазовый состав порошков изучали с помощью дифрактометра «XRD-6000 Shimadzu»; микротвердость частиц измеряли на шлифах с помощью прибора ПМТ-3 при нагрузке 0,05 Н (ГОСТ 9450-76). У порошков определяли также текучесть (ГОСТ 20899-98), пикнометрическую плотность (ГОСТ 2266-77), насыпную плотность (ГОСТ 19440-94), плотность утряски (ГОСТ 25279-98). Исследованы фракции порошков – 25 +0, – 50 +25, – 63 +50, – 90 +63, – 125 +90, – 180 +125, – 250 +180, – 355 +250.

Исследования гранулометрического состава порошка сплава 12X18H10T (табл. 1) показали, что доля фракции менее 25 мкм составила 1,5 мас. %, фракции – 63 +25 мкм – порядка 50 %, фракции – 90 + 63 мкм – порядка 30 %.

Таблица 1

Фракционный состав порошков сплавов

Фракция	Количество, масс. %	
	12X18H10T	ХН67МВТЮ
– 25 +0	1,5	0,6
– 50 +25	24,5	18,5
– 63 +50	28,5	31,9
– 90 +63	20,8	12,4
– 125 +90	18,2	11,0
– 250+180	4,9	19,9
– 355 +250	1,6	5,7

Форма частиц самой мелкой фракции сплава ХН67МВТЮ сферическая с коэффициентом формы 0,99 без сателлитов, рис. 1, а, б; с увеличением размера частиц появляются частицы с сателлитами и частицы эллипсоидной формы с коэффициентом формы 0,95 (до 15 % в диапазоне – 63 +25 мкм, до 20 % в диапазоне – 90 + 63 мкм), рис. 1, в, г; 2, а.

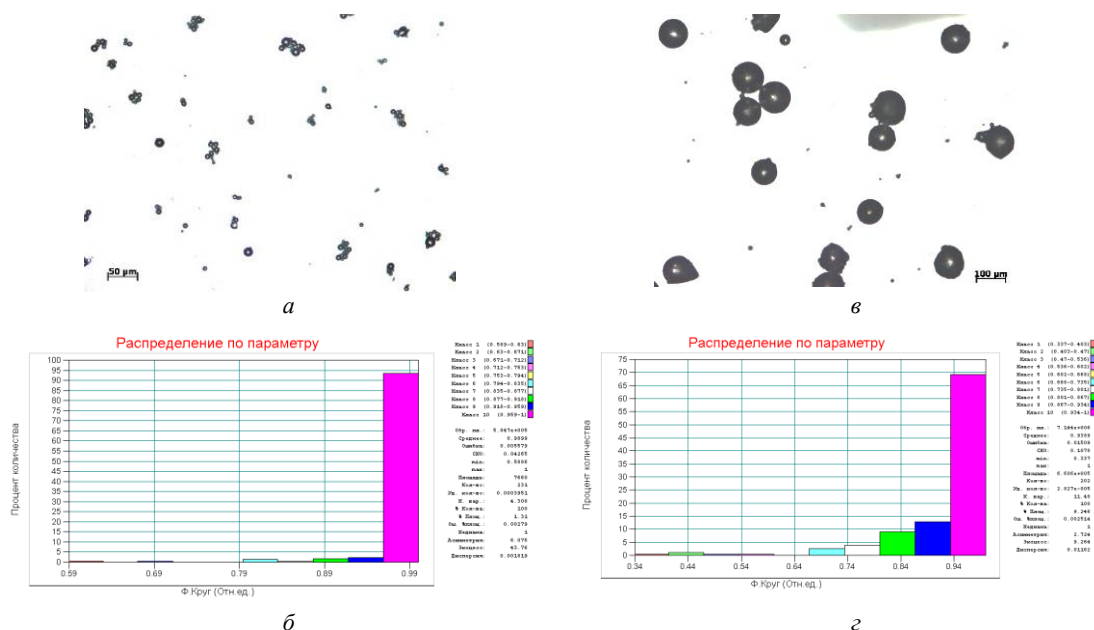


Рисунок 1 – Морфология частиц (а, в) и коэффициент формы частиц (б, г) сплава ХН67МВТЮ, фракций – 25 + 0 (а) и – 125 + 90 (б)

Гистограммы распределения частиц по размерам, выполненные по результатам измерений каждой фракции, показали наличие примесей частиц менее 1 мкм, не удаленных в процессе сухого рассева; последующее применение влажного рассева позволило существенно сократить долю «пыли» во фракциях.

Форма частиц сплава 12Х18Н10Т больше отличается от сферической, с увеличением размеров частиц коэффициент формы уменьшается более существенно, рис. 2, а.

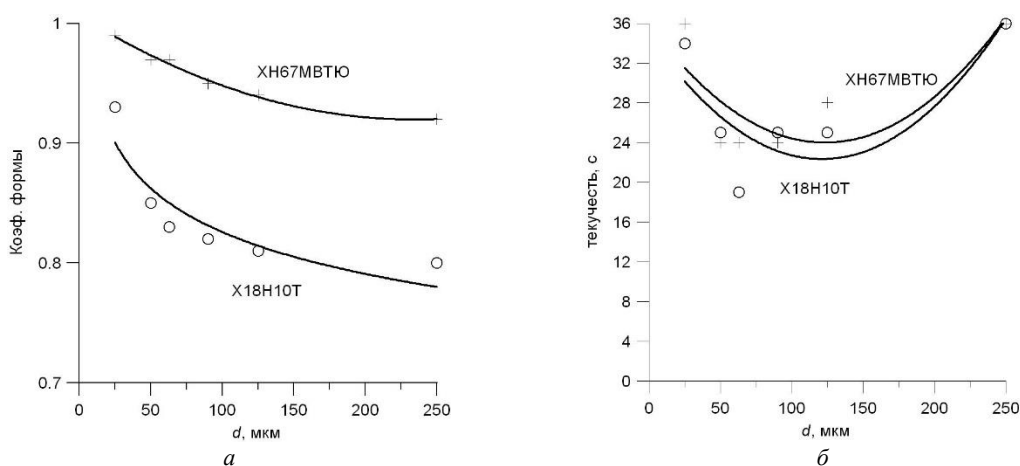


Рисунок 2 – Коэффициент формы частиц порошков (а) и текучесть (б) сплавов 12Х18Н10Т и ХН67МВТЮ в зависимости от размеров фракций

Отклонение формы частиц от сферической приводит к ухудшению показателя текучести, рис. 2, б. Характерной особенностью линии, описывающей зависимость текучести от размера частиц фракции, является немонокотонность, которая на первом участке до минимума обусловлена небольшой массой частиц самой мелкой фракции (при форме частиц наиболее близкой к сферической); восходящая вторая ветвь кривой обусловлена неправильной формой частиц, при этом масса частиц незначительно влияет на сокращение времени текучести. Наименьшим временем текучести обладают фракции 25-90 мкм.

Несферическая форма частиц приводит к понижению пикнометрической плотности при увеличении размеров частиц до 125 мкм, рис. 3 а, б, что может быть связано с увеличением вероятности формирования внутренней пористости с увеличением размеров частиц; плотность утряски и насыпная плотность возрастают с увеличением размеров частиц.

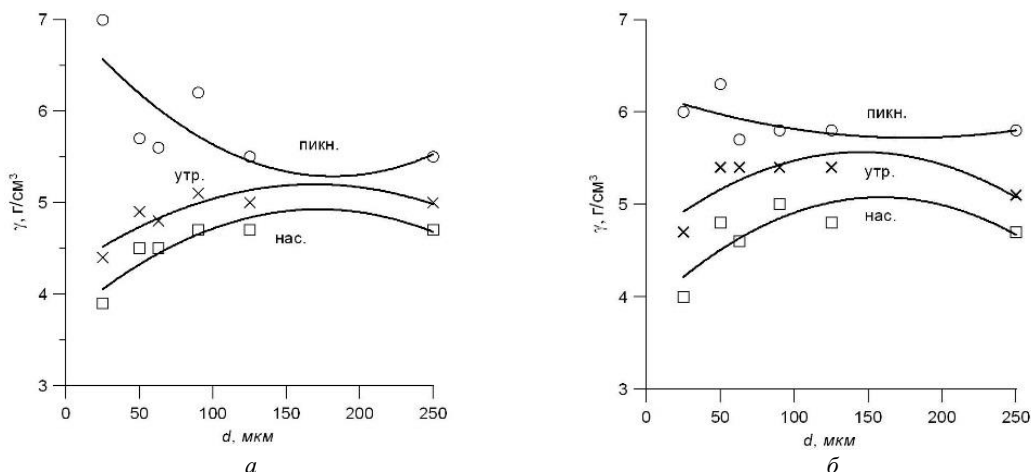


Рисунок 3 – Пикнометрическая, насыпная плотность и плотность утряски порошков сплавов 12X18H10T (а) и XH67MBTЮ (б) в зависимости от размеров частиц фракций

Содержание кислорода в самой мелкой фракции достигало 0,02 мас. %, в средних фракциях – порядка 0,001 мас. %, в частицах крупнее 90 мкм – меньше 0,001 мас. %.

Элементный состав (железо, хром, никель, титан и др.) по фракциям был практически однороден и соответствовал исходному содержанию элементов, табл. 2.

Таблица 2

Содержание элементов в порошках сплавов

Фракция, мкм	Количество, масс.%								
	12X18H10T				XH67MBTЮ				
	Cr	Ni	Ti	Fe	Cr	Ni	W	Ti	Mo
- 25 +0	18,2	10,0	0,49	69,5	18,6	67,6	2,6	2,3	4,9
- 50 +25	18,4	10,0	0,6	69,4	18,32	68,7	2,2	2,4	4,7
- 63 +50	18,4	10,1	0,58	69,3	18,5	68,2	2,4	2,4	4,9
- 90 +63	18,4	9,9	0,46	69,1	18,34	68,1	2,3	2,1	4,7
- 125 +90	18,1	10,2	0,52	69,1	18,2	68,3	2,4	2,3	4,8

Фазовый состав порошка сплава 12X18H10T – 90,2 мас. % аустенита и 9,8 % феррита. Параметры решетки α - и γ -железа, ввиду формирования твердых растворов несколько увеличены – 2,8732 Å и 3,5933 Å соответственно; напряжения кристаллической решетки даже в порошках самой мелкой фракции невелики – 0,052 %.

Внутричастичная пористость в частицах самой мелкой фракции не обнаружена, в частицах крупнее 25 мкм поры (возможно, усадочные раковины) присутствуют в небольших количествах, что подтверждается понижением пикнометрической плотности порошков при увеличении размеров частиц.

Зеренная структура частиц неоднородна, имеет признаки быстроохлажденной структуры. В мелких фракциях присутствуют столбчатые зерна, рис. 4. Микротвердость частиц самой мелкой фракции выше на 20 %, чем микротвердость частиц фракций – 63 +25 мкм и – 90 + 63 мкм.

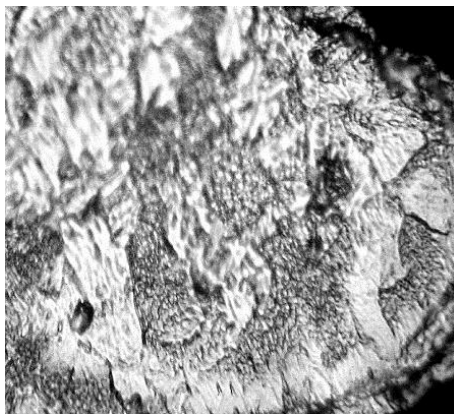


Рисунок 4 – Зеренная структура частицы порошка сплава 12X18H10T, травлено, $\times 1500$

Закономерности формирования структуры и свойств порошков из стали 12X18H10T и ХН67МВТЮ были аналогичны.

Фракции – 40 +0 порошков сплавов 12X18H10T и ХН67МВТЮ были использованы для изготовления изделий сложной формы методом шликерного литья порошков, а также высокопористых ячеистых материалов методом копирования матрицы.

Таким образом, исследования показали, что свойства полученных порошков позволяют использовать их для изготовления изделий методом селективного лазерного спекания (фракция – 63 + 25), шликерного литья (фракция – 40 +0), а также в технологии плазменного нанесения покрытий (– 90 +63).

Список литературы

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 г. //Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № S. – С. 7-17.
2. Шишковский И.В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий. – Москва: Физматлит, 2009. – 421 с.
3. Шликерное литье / А.Г. Добровольский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Металлургия, 1977. – 240 с.
4. Либенсон Г.А. Процессы порошковой металлургии: учебник для вузов: в 2 т. / Г.А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г.В. Комарницкий. – Москва: Изд-во МИСиС, 2001. – Т. 1: Производство металлических порошков. – 2001. – 367 с.
5. Силаев А.Ф. Диспергирование жидких металлов и сплавов / А.Ф. Силаев, Б.Д. Фишман. – Москва: Металлургия, 1983. – 144 с.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 55.57.43

А.К. Курманов, Н.А. Камышева

Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова, г. Костанай

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ ЗЕРНА В ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕ
УДАРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТИПА**

В статье рассмотрены основные теории измельчения. Выявлены закономерности дробления зерна при ударе о корпус или деку измельчителя. Разработана математическая модель, проанализировав которую, можно сделать вывод о том, что прирост поверхности зерна зависит от таких факторов как: угол атаки, размера, скорости частицы во время удара, а также физико-механических свойств зерновки гороха. Полученные зависимости помогут в дальнейшем при проектировании измельчителей ударно-центробежного типа.

Мақалада ұнтақтаудың негізгі теориясы қарастырылған. Ұнтақтағыштың корпусына немесе декасына әсер ету кезінде астықты ұсақтау заңдылықтары анықталды. Математикалық модель жасалды. Оны талдай отырып, астық бетінің өсуі әсер ету бұрышы, мөлшері, соққы кезіндегі бөлшектердің жылдамдығы, сондай-ақ бұршақ дәндерінің физикалық-механикалық қасиеттері сияқты факторларға байланысты деген қорытынды жасауға болады. Алынған тәуелділіктер соққыдан тепкіш тегістеуіштерді одан әрі жобалауға көмектеседі.

The basic theories of grinding are considered in the article. The patterns of grain crushing from impact on the body or concave of the crusher are revealed. A mathematical model has been developed, that allows us to conclude that the grain surface depends on such factors as: angle of attack, size, particle velocity during impact physical and mechanical properties of grain peas. The resulting dependencies can help to impact-centrifugal crusher machine design.

Ключевые слова: теория измельчения, работа, зерно, угол атаки, диаметр, скорость.

Математическая модель процесса дробления зерна в измельчителе ударно-центробежного типа. В общем виде теория измельчения устанавливает зависимость между энергией измельчения и размером зёрен продукта измельчения [1], изучает функциональные зависимости между затраченной энергией или механической работы на процесс измельчения материалов и степенью измельчения, а также рассматривает вопросы закономерности в распределении частиц по их размерам, для того, чтобы найти простые и надежные методы определения средних частиц, площади их удельной поверхности и численных значений степени измельчения. Основывается теория измельчения на двух гипотезах:

- поверхностная (выдвинута П.Р. Риттенгером);
- объемная (предложенная В.Л. Кирпичевым).

Согласно гипотезе П. Риттингера [2], работа при измельчении материала прямо пропорциональна площади вновь образованной поверхности:

$$A = K_1 \Delta S, \quad (1)$$

где K_1 – коэффициент пропорциональности; ΔS – площадь вновь образованной поверхности, мм.

Но данная теория не учитывает изменения формы тел при измельчении. Вследствие этого она не пригодна для описания процессов дробления в случаях, когда готовый продукт имеет малую удельную поверхность [3].

Поэтому Кирпичев В.Л. (1874) и Ф. Кик (1885) предложили следующую формулу, суть которой состоит в том, что энергия, необходимая для одинакового изменения формы подобных и однородных тел, пропорциональна их объемам:

$$A = k_2 d_H^3, \quad (2)$$

где k_2 – коэффициент пропорциональности.

При измельчении Q_M (кг) материала со средним размером кусков d_H общее количество измельчаемых кусков равно $Q_M / (\rho d_H^3)$, соответственно работа измельчения

$$A = k_2 d_H^3 / \rho, \quad (3)$$

где ρ – плотность куска, кг/м³.

Теория Кирпичева-Кика оценивает энергию, расходуемую на деформирование материала, и не учитывает затраты на образование новых поверхностей.

Ф. Бонд предложил объединяющую «примирительную» теорию, в которой он доказал, что работа, затрачиваемая на измельчение материалов, прямо пропорциональна среднему геометрическому из объема деформируемого тела и приращения удельной площади поверхности измельченного материала.

Проанализировав гипотезы, заметно, что они не учитывают влияние дисперсности материала на энергоемкость процесса, а также являются составными частями или частными случаями общего закона измельчения твердых тел, о чем утверждали дальнейшие исследования П.А. Ребиндера и В.Д. Кузнецова.

В 1928 году советский ученый П.А. Ребиндер предложил объединить эти две гипотезы в один общий закон. В общем виде он может быть выражен так: удельную работу A можно определить как сумму работ, затрачиваемых на предварительный процесс изменения объема ΔV и на образование новых поверхностей ΔS .

$$A = A_v + A_s = k_r \Delta S, \quad (4)$$

где A_v – работа, затрачиваемая на изменение объема, Дж; A_s – работа, расходуемая на образование новых поверхностей для данного продукта; k_r – эмпирический коэффициент пропорциональности, представляющий собой удельную работу на создание единицы новой поверхности, Дж/м²; ΔS – прирост поверхности при разрушении тела, м².

Данное выражение доказывает, что работа упругих деформаций тем меньше, чем меньше прочность материала.

Указанные выше формулы можно использовать лишь для качественного исследования рабочих процессов и сравнительных расчетов с целью выявления относительной величины энергии, затрачиваемой на измельчение [4].

Если оценивать теории измельчения с позиций их практической значимости, то следует отметить, что в зависимостях для определения затрат энергии отсутствуют характеристики самих материалов и каких-либо параметров рабочих органов, что затрудняет формирование требований к разработке новых технических решений или режимов [5].

Эффективность работы дробилки оценивается такими показателями, как: производительность, степень дробления и удельный расход электроэнергии. Эффективность процесса измельчения обычно характеризуется коэффициентом полезного действия:

$$\eta_{изм} = A_s / A, \quad (5)$$

где A_s – удельная работа, затрачиваемая на процесс образования новых поверхностей, Дж; A – удельная работа, затрачиваемая на измельчение, Дж.

Данная зависимость выражает обобщенную теорию измельчения по П.А. Ребиндеру.

Отсюда следует, что:

$$\eta_{изм} = A_s / A_v + A_s. \quad (6)$$

Работа упругих деформаций, согласно теории упругости, рассчитывается как

$$A_v = \frac{\sigma_p^2 v}{2E}, \quad (7)$$

где σ_p – предельное напряжение упругих деформаций (предел прочности материала), Н/м²; v – объем деформируемого тела, м³; E – модуль Юнга, Н/м².

Если телу сообщить энергию A , превышающую предельную работу упругих деформация, то оно начнет разрушаться, образуя новую поверхность ΔS , величина которой пропорциональна избытку энергии, сообщенной телу [6].

$$As = A - A_y = k_r \Delta S, \quad (8)$$

где k_r – эмпирический коэффициент пропорциональности, представляющий собой удельную работу на создание единицы новой поверхности, Дж/м² (зависит от физико-механических свойств материала и способа измельчения); ΔS – прирост поверхности при разрушении тела, м².

Эмпирический коэффициент пропорциональности зависит от типа материала и способа измельчения. Подставив выражения 7 и 8 в формулу 4, получим, что работа измельчения равна:

$$A = \frac{\sigma_p^2 v}{2E} + k_r \Delta S. \quad (9)$$

Данная зависимость может позволить рассмотреть процесс измельчения не только с позиции измельчения как образования новой поверхности, но и проанализировать отдельно упругую деформацию.

Работа, затрачиваемая на деформацию тела, если ее рассматривать с позиции теории удара рассчитывается как разность кинетических энергий до и после удара:

$$A = E_1 - E_2, \quad (10)$$

где E_1 и E_2 – кинетические энергии ударяющегося тела до и после удара, Дж

Кинетическая энергия ударяющегося тела рассчитывается последующей формуле:

$$E_1 = \frac{mV^2}{2}, \quad E_2 = \frac{mU^2}{2}, \quad (11)$$

где m – масса ударяющегося тела, кг; V^2 – скорость тела в момент удара, м/с; U^2 – скорость тела после удара, м/с.

Подставив формулу 11 в 10, получим, что работа, затрачиваемая на деформацию тела, будет определяться по формуле:

$$A = \frac{mV^2}{2} - \frac{mU^2}{2} = \frac{m}{2}(V^2 - U^2). \quad (12)$$

Введем некоторые уточнения:

- тело представляет собой шар (рассматриваем зерно гороха);
- поверхность барабана УЦИ, о которую осуществляется удар, гладкая;
- удар происходит без трения.

Скорость центра тела образует с нормалью к поверхности угол падения (рис. 1).

Так как трение отсутствует, то реакция поверхности направлена по нормали и ее проекция на касательную равна нулю.

На основании теоремы о проекции количества движения [7] имеем, что:

$$mU_\tau - mV_\tau = 0 \quad (13)$$

$$U_\tau = V_\tau \quad (14)$$

Без изменений остается касательная составляющая скорости при ударе о гладкую неподвижную поверхность.

В рассматриваемом случае коэффициент восстановления представляет собой отношение:

$$k = -\frac{U_n}{V_n}. \quad (15)$$

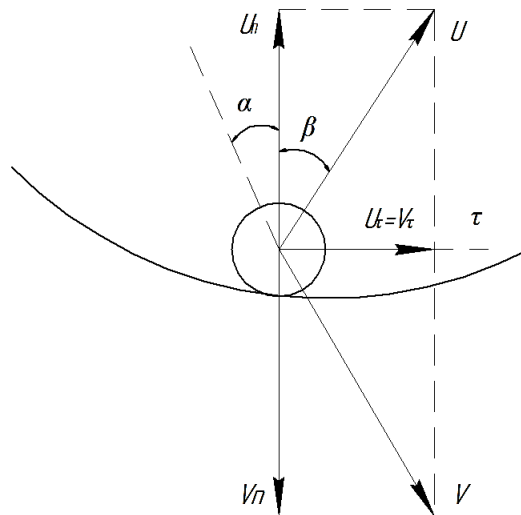


Рисунок 1 – Схема к расчетам

Проанализировав рис. 1, видно, что:

$$U \cdot \sin \beta = V \cdot \sin \alpha, \quad (16)$$

$$U \cdot \cos \beta = -kV \cdot \cos \alpha.$$

Если возвести равенства в квадрат и сложить их, то получим скорость шара после удара:

$$U = V \sqrt{\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha} \quad (17)$$

И, наоборот, разделив равенства, имеем:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1}{k} |\operatorname{tg} \alpha|,$$

$$k = \frac{|\operatorname{tg} \alpha|}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (18)$$

В нашем случае имеет место не вполне упругий удар, где коэффициент восстановления $k < 1$ и $\operatorname{tg} \beta > \operatorname{tg} \alpha$, $\beta > \alpha$, т.е. угол отражения больше угла падения.

Следует отметить, что коэффициент восстановления можно определить только эмпирическим путем.

При подстановке выражения 17 в 12 получаем выражение удельной работы, затрачиваемой на деформацию и разрушение материала:

$$A = \frac{m}{2} V^2 (1 - \sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha) \quad (19)$$

В свою очередь, удельная работа, затрачиваемая на процесс образования новых поверхностей, будет рассчитываться по формуле:

$$A_s = \frac{m}{2} V^2 (1 - \sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha) - \frac{\sigma_{\rho}^2 v}{2E}. \quad (20)$$

Так как $A_s = k_r \Delta S$, то

$$k_r \Delta S = \frac{m}{2} V^2 (1 - \sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha) - \frac{\sigma_p^2 v}{2E}.$$

Массу m можно рассчитать как

$$m = \rho v, \quad (21)$$

где ρ – плотность материала, кг/м³.

Тогда

$$k_r \Delta S = \frac{\rho v V^2}{2} (1 - \sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha) - \frac{\sigma_p^2 v}{2E}$$

Для ударного измельчения зерна гороха в УЦИ принимаем, что форма материала будет представлять собой сферу. Объем в данном случае рассчитывается по формуле [7]:

$$V = \frac{\pi d^3}{6}, \quad (22)$$

где d – диаметр зерновки, м.

Исходя из этого, получаем, опустив упрощения выражения, что

$$\Delta S = \frac{\pi d^3}{k_r 6} \left[(1 - \sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha) - \frac{\sigma_p^2}{E} \right]. \quad (23)$$

Таким образом, можно заметить, что с увеличением скорости вылета зерна с лопатки измельчителя, прирост поверхности также имеет тенденцию к увеличению. Если рассматривать влияние изменения угла атаки к корпусу или деке (α), то можно заметить, что с увеличением угла эффективность измельчения и прирост поверхностей снижаются.

Считаем, что разработанная математическая модель, устанавливающая зависимости прироста поверхности зерна при ударе о корпус или деку измельчителя от основных факторов: угла атаки, скорости вылета частицы с лопатки измельчителя, позволит в дальнейшем определить оптимальные конструктивно-режимные параметры ударно-центробежного измельчителя.

Список литературы

1. Б.И. Авербах. Некоторые физические аспекты разрушения // Разрушение: в 7 т. / под редакцией Г. Либовиц; пер с англ. – М.: Мир, 1973. – Т. 1. – С. 471-504.
2. Мельников С.В. Механизация животноводческих ферм / С.В. Мельников, Б.И. Вагин, П.А. Андреев и др. – М.: «Колос», 1969. – 440 с.
3. Борщёв В.Я. Оборудование для измельчения материалов: Дробилки и мельницы: Учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамбовского гос. техн. ун-та, 2004. – 75 с.
4. Александров Е.В., Соколинский О.Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. – М.: Наука, 1969. – 199 с.
5. Иванов В.В. Физико-механические предпосылки снижения энергоемкости процесса измельчения зерна / Л.А. Гуриченко, В.В. Иванов, А.М. Семенихин и др. // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборн. науч. статей по материалам V Международной научно-практической конференции. – Ставрополь: АГРУС, 2010. – С. 67-71.
6. Ребиндер П.А. Физико-химические исследования процессов деформации твёрдых тел / П.А. Ребиндер // Сборник АН СССР. 4.1. – М.: Л, 1947. – 49 с.
7. Григорьев А.Ю. и др. Соударение тел: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 43 с.
8. Злочевский В.Л. и др. Исследование прочностных свойств зерновых материалов: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: Лань, 2017. – 180 с.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 55.33.02

Д.М. Мырзабекова, М.С. Муздыбаев, А.С. Муздыбаева

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ШАРНИРНЫХ УЗЛОВ ПОДЗЕМНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ
С ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ РАМОЙ**

В статье приведены результаты исследования работоспособности подземных погрузчиков с шарнирно-сочлененной рамой. В горных машинах с шарнирно-сочлененной рамой наблюдался ускоренный износ проушин шарнирных соединений, в результате чего пальцы шарниров поворотного механизма под усилием штока гидроцилиндра перекашивало и выбивало из проушин, машины теряли управляемость и работоспособность. Предпосылкой к возможности ухудшения условий работы элементов шарнирного узла является несовершенство его конструкции и недостаточная защищенность узла к проникновению агрессивных и абразивных сред в рабочую зону фрикционной пары «палец-проушина».

Мақалада топсалы-біріктірілген рамасы бар жерасты тиегіштердің жұмысын зерттеу нәтижелері келтірілген. Топсалы-біріктірілген рамасы бар тау-кен машиналарында топсалы қосылыстар сырғалық тесіктердің тез тозуы байқалды, нәтижесінде гидроцилиндр өзегінің күшімен айналмалы механизм топсаларының саусақтары қисайып, сырғалық тесіктерден шығып кетеді, салдарынан машиналар басқарушылығын және жұмысқа қабілеттілігін жоғалтады. Топсалы түйін элементтерінің жұмыс жағдайының нашарлау мүмкіндігінің алағышарты оның конструкциясының жетілмегендігі және «саусақ-сырғалық тесік» фрикциялық жұбының жұмыс аймағына агрессивті және абразивті ортаның енуіне тораптың жеткіліксіз қорғалуы болып табылады.

The article presents the research results of the dependability of underground loaders with a articulated frame. In mining machines with articulated observed accelerated wear of eyes articulated joints, causing the fingers joints of the rotating mechanism under the force of hydraulic cylinder were twisted and knocked out eyes, the car lost handling and performance. A prerequisite for the possibility of deterioration of the working conditions of the elements of the hinge assembly is the imperfection of its design and insufficient protection of the node to the penetration of aggressive and abrasive compounds into the working area of the friction pair «finger-eye».

Ключевые слова: горные машины, работоспособность, шарнирные узлы, износ.

Введение. Актуальность темы исследования обусловлена тем, что техническое состояние шарнирных узлов в сочлененной раме горных погрузочно-доставочных машин непосредственно влияет не только на безопасность эксплуатации, но и в целом отражается на эффективности работы комплекса машин в процессе подземной добычи руды. Воздух в подземных рудниках отличается от атмосферного воздуха своим составом и свойствами, а именно пыленностью, высокой влажностью, содержанием коррозионно активных веществ. Образующийся на стенках деталей машин водяной конденсат представляет собой водный раствор агрессивных химических соединений. Капли такого конденсата затекают в зазоры сопряжений деталей, вызывая их коррозионный износ. При попадании в шарнир даже небольшого количества рудничной пыли, смазочный материал в шарнирном узле превращается в своеобразный абразивный компаунд. Значительный износ шарнира может привести к тому, что палец шарнира может вырвать из гнезда в раме. Это влечет потерю цельности конструкции и разрушение рамы машины. Таким образом, износ шарнира критически повышает риск возникновения аварийных ситуаций в подземных рудниках с катастрофическими последствиями. Поэтому исследование методов обеспечения работоспособности шарнирных узлов подземных технологических машин является актуальным.

Методика исследования. Применительно к подземным погрузчикам плановое техническое обслуживание в соответствии с периодической стратегией представляется недостаточным, поскольку интенсивность износа шарнирного соединения в основном зависит от изменяющихся условий окружающей среды. Время проведения обслуживания может не совпасть с моментом критического состояния узла. Это приводит к отказам между плановыми обслуживаниями и простоям комплекса совместно работающих машин. Наиболее радикальным подходом здесь является обслуживание по фактическому состоянию, при котором диагностическим параметром

может быть величина зазора между элементами шарнирного соединения. Мониторинг этого параметра позволит установить обоснованную периодичность обслуживания. Подход отличается высокой эффективностью, однако требует установки дополнительной системы контроля с соответствующим датчиком и внесения конструктивных изменений в шарнирные узлы подземного погрузчика. Другой подход менее радикальный, не требует внесения конструктивных изменений. Но в таком случае необходимо выявить рациональную периодичность профилактического обслуживания применительно к реально зафиксированной интенсивности отказов узла. Для выявления рациональной периодичности обслуживания необходима статистическая информация об отказах узла, позволяющая установить среднее значение его наработки на отказ и темпов износа. Таким образом, методика исследования в обязательном порядке включает этап экспериментальных исследований на надежность подземных погрузчиков и оценку ресурсных показателей шарнирных узлов.

Анализ надежности подземных погрузчиков. Экспериментальные исследования надежности подземных погрузчиков Caterpillar R1300G (рис. 1) проведены в условиях подземных рудников Восточного Казахстана.



Рисунок 1 – Подземный погрузчик Caterpillar R1300G

Выполнен анализ безотказности подземных погрузчиков путем ранжирования числа отказов для выявления элементов, лимитирующих безотказность машины [1]. Во внимание были приняты отказы узлов и систем, повлекшие потерю работоспособности машины в целом. Для ранжирования систем и агрегатов по их надежности построена диаграмма Парето [2]. Всего в группу наименее безотказных систем (доминирующее влияние составляет порядка 80 % от общего времени простоя в ремонте) вошло четыре системы, в т.ч. гидравлика, электрика, ковш, тормозная система.

Из рис. 2 видно, что наибольшее количество отказов машины обусловлено недостаточной безотказностью гидравлики. Они обусловили более половины всех отказов машины.

Следует отметить, что с позиций надежности по технико-экономическому критерию элементы гидравлики относятся к быстроизнашивающимся узлам и могут не являться наиболее критичным фактором [3]. Напротив, самыми безотказными в эксплуатации проявили себя двигатель, рама с узлами сцепки и трансмиссия. Таким образом, требуется анализ надежности агрегатов и систем по технико-экономическому критерию. Важным является не столько число отказов, сколько производственные потери, связанные с возникновением отказов. В связи с этим выполнен анализ затрат на поддержание надежности подземных погрузчиков по методике [4]. Во внимание были приняты средние значения затрат на запасные части, трудоемкость и стоимость ремонтных работ, а также величина компенсации простоев машины в ремонте. Необходимо отметить, что продолжительность простоя в ремонте является доминирующим показателем, поскольку простой возникает по группе машин, работающих в едином технологическом цикле. При этом значение ущерба от простоя группы машин оказался значительно выше себестоимости ремонтных работ для устранения отказа.

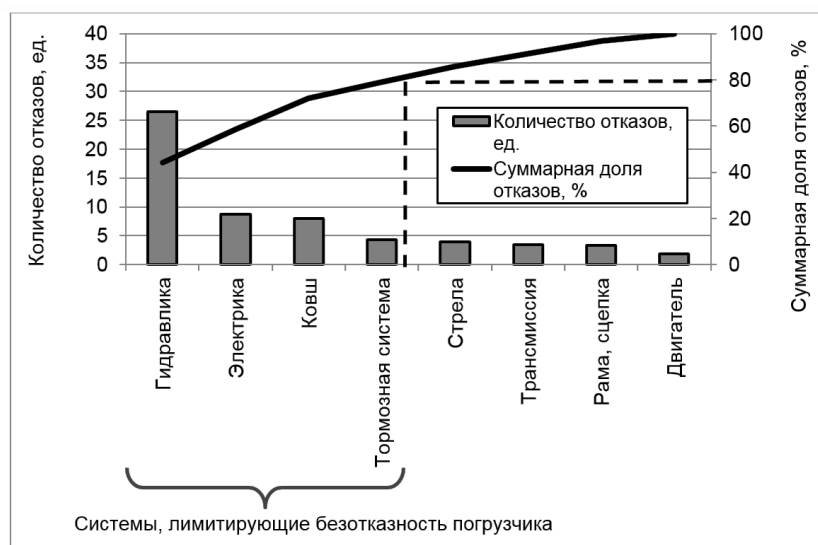


Рисунок 2 – Ранжирование систем погрузчика Caterpillar R1300G по безотказности

Произведено ранжирование систем и агрегатов по их затратам на поддержание их надежности (рис. 3). Всего в группу наименее надежных систем (доминирующее влияние составляет порядка 80 % от суммы затрат на поддержание надежности) вошло четыре системы, в т.ч. трансмиссия, гидравлика, рама с узлами сцепки и двигатель с его вспомогательными системами.

Наибольшее время простоя машины в ремонте обусловлено отказами элементов трансмиссии и гидравлики (рис. 3). Вместе они обусловили практически половину всех простоев машины. Однако по критерию обеспечения безопасности производства работ наиболее критичной из указанных систем является сочлененная рама с узлами сцепки. На их долю приходится порядка 13 % от всей продолжительности простоев погрузчиков в ремонте.

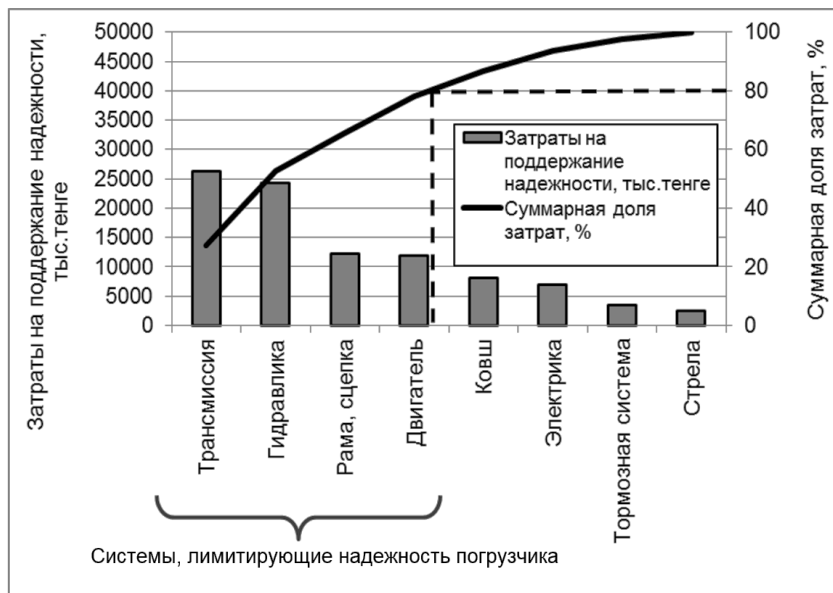


Рисунок 3 – Ранжирование систем погрузчика Caterpillar R1300G по надежности

В указанной группе конструктивных элементов подземного погрузчика «рама, сцепка» наиболее часто происходит отказ шарнирных узлов в сочлененной раме, а именно шарнирного узла крепления штока гидроцилиндра механизма поворота. Причина отказа – износ и оваллизация формы посадочного места пальца шарнира в гнезде верхней проушины. В результате износа появлялся зазор в сопряжении. Пальцы шарниров поворотного механизма под усилием штока гидроцилиндра перекашивало и выбивало из проушин. Как следствие, машины теряли управляемость и работоспособность.

Анализ показал, что причиной интенсивного износа шарниров стали такие условия окружающей среды, как температура, влажность, запыленность воздуха, присутствие коррозионно активных соединений. Предпосылкой к возможности ухудшения условий работы элементов шарнирного узла является несовершенство его конструкции и недостаточная защищенность узла к проникновению агрессивных и абразивных сред в рабочую зону фрикционной пары «палец-проушина».

Обеспечение надежности шарнирного узла. Применение технологий Industrie 4.0 [5] на стыке механики и информационных технологий позволит решить проблему обеспечения работоспособности шарнирного узла и его контролепригодности в режиме «on line». Разработано устройство, предназначенное для защиты от износа и контроля состояния шарнирного соединения шарнирно-сочлененной погрузочно-доставочной машины. Защита шарнира от износа из-за абразивных частиц и коррозионно-активных соединений обеспечивается конструкцией корпуса устройства. Контроль состояния шарнира достигается с помощью датчика осевого смещения пальца, интегрированного в систему Maintenance 4.0 [5].

На рис. 4 изображено шарнирное соединение с устройством защиты и контроля его состояния. Шарнирное соединение содержит палец 1, проходящий через проушину гидроцилиндра 2, крепится в нижней 3 и верхней 4 проушинах полурамы с помощью прижимных втулок 5. Болт 6 с гайкой 7 фиксируют положение шарнира. Под действием циклических нагрузок проушины деформируются, при этом в верхнюю проушину 4 попадают абразивные и коррозионно-активные вещества, что ускоряет процесс ее износа и появление оваллизации отверстия проушины. При некотором значении износа гидроцилиндр 2 выдавливает палец 1 из оваллизировавшейся проушины 4 вверх, демонтируя шарнирное соединение.

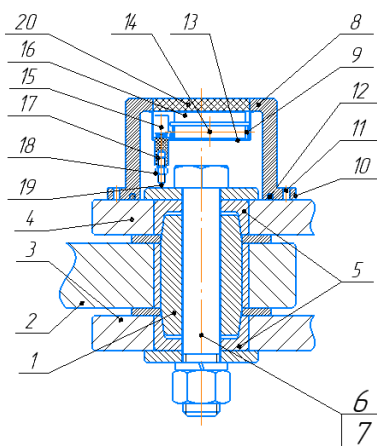


Рисунок 4 – Шарнирное соединение с устройством защиты и контроля его состояния

Предлагаемое устройство защиты и контроля состояния шарнирного соединения содержит корпус 8 и датчик 9 осевого смещения шарнирного пальца. Корпус устройства выполнен в форме стакана с фланцем 10 на горловой части. На фланце имеются проушины 11 для крепления сверху к верхней проушине шарнирного соединения. Герметизация внутреннего пространства корпуса устройства может достигаться с помощью герметика, наносимого на плоскость фланца. В другом варианте на плоскости прилегания фланца корпуса 8 к шарнирному соединению может быть выполнена канавка

для герметизации эластомерным уплотнителем 12. Герметизация внутренней полости корпуса устройства не позволит абразивным и коррозионно-активным загрязнениям проникнуть к верхней части шарнирного соединения и предотвратит его ускоренный износ. На донной части корпуса устройства с внутренней стороны крепится корпус датчика 13 осевого смещения пальца шарнирного соединения. Внутри корпуса датчика смонтирован источник питания 14, переключатель 15, сигнальный модуль Wi-Fi 16. Датчик имеет выступающий шток 17 для включения датчика. Длина выступающей части штока регулируется контрящимся с помощью гайки 18 винтовым наконечником 19. Избыточное осевое смещение пальца шарнира из-за износа гнезда проушины обусловит выдавливание из посадочного места деталей крепления шарнира (верхней прижимной втулки и болта крепления), что приведет к подпиранию наконечника 19 и смещению штока 17, что вызовет включение переключателя 8 сигнального модуля Wi-Fi 16. Сигнал передается по беспроводному каналу связи системы Maintenance 4.0 через электромагнитопроницаемое окно 20 в донной части корпуса. На предлагаемое техническое решение подана заявка на изобретение.

Заключение. Применение инновационных технологий в предлагаемом техническом решении позволяет обеспечить высокую работоспособность и контролепригодность шарнирного узла погрузчика.

Список литературы

1. ГОСТ 27.310-1995. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.
2. Кох, Ричард. Принцип 80/20 [пер. с англ.]. – М., Эксмо, 2012. – 443 с.
3. МЭК 60300-3-10:2001 (IEC 60300-3-10:2001) Управление общей надежностью. – Часть 3-10: Руководство по применению. Ремонтопригодность.
4. ГОСТ Р 51901.5-2005. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности.
5. Maintenance 4.0: The Digital Twin of Industrie 4.0 // Schneider Electric Exchange [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://community.exchange.se.com/t5/Industry-4-0-Blog/Maintenance-4-0-The-Digital-Twin-of-Industrie-4-0/ba-p/167654> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 01.10.2020).

Получено 3.11.2020

МРНТИ 50.49.02

С.Б. Рахметулаева, Е. Хасен

Международный университет информационных технологий, г. Алматы

АНАЛИЗ РЫНКА ОНЛАЙН-ОБРАЗОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА С ПОМОЩЬЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статье освещен рынок онлайн-образования, его игроки, использующие интерактивные информационные технологии в образовании. Исследованы основные модели работы со студентами в онлайн-обучении, способы подачи информации и работы с мотивацией студентов в контексте дистанционного образования. Выявлены основные боли потребителей в онлайн обучении и предложены решения для того, чтобы максимизировать результат.

Мақалада онлайн-білім беру нарығы, оның білім берудегі интерактивті ақпараттық технологияларды қолданатын компаниялары көрсетілген. Онлайн оқытуда студенттермен жұмыс істеудің негізгі модельдері, ақпаратты беру тәсілдері және қашықтықтан білім беру контекстінде студенттерді ынталандырумен жұмыс істеу зерттелген. Интернеттегі оқытуда тұтынушылардың негізгі қиындықтары анықталды және нәтижені барынша арттыру үшін шешімдер ұсынылды.

The article covers the online education market and its players using interactive information technologies in education. The main models of working with students in online learning, ways of providing infor-

mation and working with students' motivation in the context of distance education are studied. The main problems of consumers in online training are identified and solutions are proposed in order to maximize the result.

Ключевые слова: информационно-коммуникационные технологии, on-Line образование, дистанционное обучение, образовательная среда, платформа для обучения, системы мотивации, модели обучения.

Введение. С появлением интернета во второй половине 20-го века начался экспоненциальный рост развития информационных технологий, что повлекло за собой значительное облегчение жизни человека. Абсолютно вся сфера его жизни приняла новую форму, открылись новые рынки и возможности для развития. Некогда сильнейшие игроки теряли своих потребителей, а выскочки создавали новые рынки и росли с невероятной скоростью. Как следствие, такого рода перепады оказали влияние на экономическое состояние многих секторов рынка, в том числе на сектор образования. Тенденция спроса на качественное и доступное образование только растёт, прибавляя интерес потребителей из года в год.

Так, создался новый рынок онлайн-образования, где люди поняли, что можно получить качественное образование не только в университете локально, но и от экспертов из разных областей в интернете. Стали появляться образовательные проекты, которые могли предоставить качественное онлайн-образование за доступную цену. Именно такие маркеры стали конкурентными преимуществами данных проектов перед университетами, ведь обычного потребителя привлекала перспектива получить качественное образование с большим объемом информации за относительно короткий период времени.

Однако стоит отметить, что университеты не стояли в стороне и понимали, что нужно развиваться и принимать современные тренды. Так, образовательные гиганты начали развивать инновационную инфраструктуру вузов, начиная с электронной библиотеки, заканчивая полноценной онлайн-системой для управления образовательной деятельностью.

Здоровая конкуренция стала катализатором развития рынка онлайн-образования, ведь новые проекты хотели изменить традиционное понимание обучения, а старые игроки внедряли новые технологии в привычные им процессы. Так, человеку, который хочет начать изучать программирование, не нужно сидеть в библиотеке и читать тонну книг, намного эффективнее просмотреть видеоматериалы, записаться на онлайн-курсы с практикующими специалистами и применять полученные навыки на практике.

Не смотря на всю свою привлекательность, онлайн-образование имеет ряд своих недостатков. Например, многим людям нужен не столько материал, сколько преподаватель, который может подсказать, помочь и решить возникшую проблему на примере традиционного метода face-to-face. Оставляя человека с его проблемами наедине, образовательные продукты рискуют навсегда отбить у человека желание обучаться той или иной сфере.

Для решения данной проблемы важно создать новую модель дистанционного образования, где можно соединить преподавателя и студентов, чтобы студенты получали максимальный результат, а преподаватели могли помочь своим студентам. Для данного решения можно применить технологии облачных вычислений и создать систему для автоматизации образовательных процессов.

Общий анализ рынка онлайн-образования. На сегодняшний момент онлайн-формат обучения окончательно признан всеми игроками образовательного рынка. Пользователи теперь рассматривают онлайн-образование в качестве полноценного заменителя традиционного формата обучения.

Согласно оценке Global Market Insights мировой объем рынка онлайн-образования к 2023 г. достигнет \$282.6 млрд, в то время как в 2017 г. он измерялся в районе \$159 млрд, в 2018 г. – \$190 млрд, а в 2019 г. – \$205 млрд [1]. Многие эксперты сходятся во мнении, что в разрезе 10 лет темпы ежегодного роста данного рынка составят 7-10 % [1].

Конкуренция на поле образования как никогда высока. Только в США насчитывается около 2 тысяч EdTech проектов. Среди крупных игроков мирового рынка онлайн-образования можно отметить Udemy, Coursera, Udacity.

Udemy – это крупнейший образовательный продукт, основанный Эреном Бали, Гаганом Бияни и Октайем Кагларом в 2010 г. Цель данного проекта – дать возможность просветления всем слоям населения. На 2020 г. количество студентов Udemy превышает 35 миллионов, а их всех обучают 57000 тренеров по всему миру [3]. Основной фишкой данной платформы является возможность обучаться у действующих экспертов рынка и получить действительно нужные для работы навыки. Сами бизнес-процессы проекта очень просты и включают в себя: видеоуроки, домашние задания для практики и возможность написать тренеру. Однако Udemy позиционируется как маркетплейс, где каждый желающий может стать тренером и зарабатывать на обучении. Здесь преподаваемый контент зависит только от тренера, что создает некоторые неудобства для пользователей в виде разного качества и формата курсов у каждого тренера.

Coursera – проект, который позиционирует себя лидером массового онлайн-образования, был основан профессорами Стэнфордского университета Эндрю Ыном и Дафной Коллер. Основной бизнес-моделью проекта является публикация образовательных материалов в виде наборов онлайн-курсов [3]. Конкурентным преимуществом проекта является тесное сотрудничество с разными университетами мира и сильнейшими компаниями из Fortune 500. Так, каждый пользователь может получить степень магистра в бизнес-администрировании от Университета Женевы или получить навыки системного администратора от компании IBM. Студенты Coursera также проходят видеолекции, делают практические задания. На февраль 2017 г. на Coursera было зарегистрировано 62 миллиона пользователей и 4300 курсов от 149 образовательных учреждений [3].

Анализируя признанных мировых лидеров массового онлайн-образования, стоит также рассмотреть Российский EdTech рынок. По оценкам EdMarket Российский рынок EdTech растет быстрее мирового, а в 2019 г. объем рынка Российских EdTech проектов составил 38,5 млрд руб. при среднегодовом росте в 20 % [4].

На Российском рынке можно выделить следующих лидеров: Skillbox, Skyeng, JavaRush. Отличием Российских проектов от мировых является сам подход к процессу образования. В то время, когда Udemy позиционируется как маркетплейс, где каждый желающий может стать тренером, Российские проекты ставят цель быть продюсерами курсов, чтобы весь контент, образовательные процессы и тренеры были от самой компании. Данный подход хорошо себя зарекомендовал, ведь пользователи получают правильно структурированные курсы по разным направлениям в едином формате.

Одним из таких продюсеров курсов, который самостоятельно регулирует процесс образования, является Skillbox. Skillbox был основан в 2016 г. и с размахом зашел на рынок образования, дерзко заявив о себе всей индустрии. Сейчас 60,33 % акций данной компании принадлежит Mail.ru Group [5]. Фактором экспоненциального роста данной платформы является фокус только на цифровых профессиях и продажа не только курсов для получения базовых знаний, а предоставление полноценных программ с трудоустройством. Skillbox решил основную боль студентов – это применить полученные знания на практике. Компания создала отдел по трудоустройству, где помогает своим лучшим студентам найти работу. В 2020 г. в рейтинге крупнейших EdTech компаний России, составленном РБК, Skillbox занял второе место. Компания полностью регулирует процессы обучения, однако они также записывают с экспертами видеоуроки и предоставляют их своим студентам.

На первом месте в данном рейтинге расположился всемирно известный проект Skyeng – онлайн-школа английского языка, основанная в 2012 году. Skyeng представляет собой хаб, в котором собираются студенты и преподаватели, где SkyEng сам является модератором курсов и следит за тем, чтобы тренеры обучали по заранее прописанному контенту. Конкурентным преимуществом Skyeng является узконаправленность и широкий выбор тренеров, где они обучают пользователей с помощью видеосвязи, не используя заранее заготовленные видеоуроки. Именно живое общение и разборы кейсов позволяют пользователям лучше усваивать полученную информацию. Сейчас Skyeng является 13-ой в рейтинге самых дорогих Российских компаний, получив оценку в \$130 млн [6].

Проанализировав большое количество онлайн-образовательных платформ, можно прийти к выводу, что все хотят обучать массами, снизив себестоимость и повысив прибыль с каждого кур-

са. Многие используют формат заранее записанных видеолекций. Да, возможно, это удобно для студентов тем, что они могут в любое время посмотреть уроки и пройти материал в удобном для себя темпе, но это лишает всех прямого контакта с учителем, где можно сразу в лайве задать тот или иной вопрос, попросить решить возникшую проблему или просто спросить совета, как развиваться дальше.

Решить основную проблему в обучении помогут инновационные модели взаимодействия учителя с учеником. Важно понимать, что никакие видеолекции не могут заменить традиционный живой урок, однако можно внедрить систему живого урока через видеосвязь. Образовательные центры получают больше результата, чем от обычных заготовленных уроков. Используя прямую связь с тренером, можно увеличить лояльность студентов, ведь они могут общаться, спрашивать и находить решения всех своих проблем у своих учителей.

Следующим этапом можно внедрить технологию анализа данных, которая позволит проводить аналитику по каждому студенту. Система будет анализировать успеваемость, время, проведенное на встрече, решаемые задачи и выдавать результат об общем положении дел. Такая аналитика позволит преподавателям четко видеть текущее положение дел, и система сама будет предлагать учащимся подходящую литературу по тем темам, по которым ученики больше всего получили баллы.

Зачастую вопросы учеников однотипные и отвечать на каждый вопрос тренер физически не сможет. Чтобы не загружать тренеров большим потоком вопросов, можно использовать робота-помощника с технологией машинного обучения. Робот сможет анализировать вопрос, сверяться с заранее заготовленными ответами и помогать студентам с тем или иным вопросом.

Важно создать атмосферу обучения, потому что окружение оказывает огромное влияние на людей. Благодаря вышеупомянутой системе аналитики успеваемости, можно внедрить систему рангов и баллов, по которой ученики могут соревноваться между собой. Соревнования могут стать мотивирующим фактором для студентов в обучении. К тому же важно сделать акцент на p2p обучении, где студенты обучают других студентов. Для этого можно создать целое сообщество внутри образовательной информационной системы, вроде форума, где каждый студент может задать любой вопрос, а другие студенты смогут на него ответить. Чтобы у студентов была мотивация разбирать чужие ошибки, можно поощрять студента за каждый его ответ баллами.

Заключение. Увеличившаяся скорость передачи информации и появление новых требований к текущей образовательной системе привело к неизбежной трансформации рынка образования. Результатом такой трансформации стало использование информационно-аналитических систем для автоматизации традиционного процесса обучения и создание нового рынка онлайн-образования, где также используются схожие системы. Мир давно принял онлайн-формат как обыденность и рассматривает как полноценный заменитель традиционной школы обучения. Да, данный рынок привлекает своей доступностью, ведь цена относительно небольшая, а обучаться человек может в любое время из любой точки мира, закрывая вопрос о затратных поездках и проживании в другом городе или же в стране. Сегодняшняя пандемия дала мощный импульс для развития онлайн-образования. Введенный во многих странах карантин заставил людей заняться своим образованием, и единственным выходом оказались онлайн-курсы. Однако, несмотря на свою привлекательность, онлайн-образование имеет ряд своих недостатков и никогда не сможет заменить живые уроки с тренером. Если бы онлайн формат был настолько хороша, как о нем говорят, тогда все люди уже давно перешли бы на него и все университеты мира закрылись бы. Однако этого не случится, потому что университеты, школы являются местом социализации человека, где он может не только получать знания, но и общаться со своими одноклассниками, получая тонну полезной информации. К сожалению, онлайн-формат этим похвастаться не может, но онлайн-образование может использовать инновационные решения для обеспечения студентов релевантным контентом, проводить аналитику, давать возможность студентам обмениваться опытом, находясь на разных точках планеты. Образовательные проекты не должны становиться бизнесом, где во главу угла ставятся деньги. Каждый EdTech продукт должен в первую очередь заботиться об уровне образования и каждый раз только улучшать процессы обучения. Здоровая конкуренция и курс на инновации позволят изобрести абсолютно новые модели обучения, которые можно будет применять уже в традиционных форматах обучения.

Список литературы

1. Исследование российского рынка онлайн-образования: Электронный ресурс // Edmarket.ru, 2019. – URL: <http://research.edmarket.ru/>
2. Alexia Tsotsis. Crowdsourced Learning Platform Udemy Raises \$3 Million From Lightbank And Others: Электронный ресурс // Techcrunch, 2011. – URL: <https://techcrunch.com/2011/10/12/crowdsourced-academy-udemy-raises-3-million/>
3. Jacob Eckstein. How Coursera Makes money: Электронный ресурс // Investopedia, 2019. – URL: <https://www.investopedia.com/articles/investing/042815/how-coursera-works-makes-money.asp>
4. EdTech перспективные направления развития: Электронный ресурс // Агентство инноваций города москва, 2019. – URL: https://innoagency.ru/files/EdTech_AIM_2019.pdf
5. О компании Skillbox: Электронный ресурс // 2020. – URL: <https://skillbox.ru/company/>
6. Тренды образования: кто вошел в топ-10 крупнейших EdTech компаний России: Электронный ресурс // Trends Rbk, электронный новостной журнал, 2020. URL: <https://trends.rbk.ru/trends/education/5f15a4cc9a794734e5a2469f>
7. Herbert A. Simon. Economics and Management Research // www.psy.cmu.edu/psy/.../hsimon/hsimon.html
8. Индикаторы образования: 2018: статистический сборник / Н.В. Бондаренко, Л.М. Гохберг, Н.В. Ковалева. – М.: НИУ ВШЭ, 2018. – 400 с.
9. Никошова Н.Г. Некоторые подходы к определению понятия «качество образования» // Педагогическое образование. 2008. – № 2. – С. 27-34.
10. Соколовская М.В., Буянкина Р.Г. Роль системы менеджмента качества в образовательном процессе вуза // Сибирское медицинское обозрение. – 2016. – № 4. – С. 100-107.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 50.41.25

С.Ж. Рахметуллина, О.Е. Бакланова, А.Ж. Бугубаева, Т.С. Дмитриева

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**РАСЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ, СВЯЗАННОЙ С РИСКОМ ВЫБРОСОВ
КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРОДА УСТЬ-КАМЕНОГОРСКА**

В данной статье приводится расчет экологической опасности от выбросов промышленных предприятий г. Усть-Каменогорска, а именно Ульбинского металлургического завода и ТОО «Казцинк». Делаются выводы о критических значениях выбросов промышленных предприятий.

Бұл мақалада Өскемен қаласындағы өнеркәсіптік кәсіпорындардың, атап айтқанда Үлбі металлургиялық зауытының және Қазмырыш ЖШС шығарындыларынан экологиялық қауіптің есебі келтірілген. Өнеркәсіптік кәсіпорындар шығарындыларының сыни мөндері туралы қорытынды жасалады.

This article provides a calculation of environmental hazards from emissions of industrial enterprises of Ust-Kamenogorsk, namely Ulba metallurgical plant and KAZZINC LLP. Conclusions are drawn about the critical values of industrial emissions.

Ключевые слова: атмосферное загрязнение, концентрация вредных веществ, экологическая опасность, риски.

В настоящее время в крупных городах имеется значительное количество промышленных предприятий с большим количеством выбросов вредных веществ в атмосферу. В г. Усть-Каменогорске были зафиксированы случаи выбросов, приводящих к экологической опасности. Ярким примером является выброс бериллия с Ульбинского металлургического завода в 1990 году, когда берилловое облако достигло городов Китая. Данный факт отражен в книге рекордов Гиннеса. Такие концентрации приводят к серьезной экологической опасности и к ухудшению здоровья населения, поэтому крайне важно уметь рассчитывать вероятность появления экологической опасности от выбросов промышленных предприятий.

Ранее нами были проведены исследования по расчету концентрации вредных веществ [1-2], а также расчеты, позволившие теоретически получить зависимость величины экологической опасности от величины риска выбросов вредных веществ [3].

Наиболее известная аварийная ситуация, создавшая неблагоприятные экологические условия и повлекшая к значительному увеличению экологической опасности, появилась в регионе в 1990 году, когда после аварии на Ульбинском металлургическом заводе облако бериллия распространилось на сотни километров и достигло территории Китая (данные выбросы являются самыми значительными за всю историю Казахстана и мировой практики). Картина распространения шлейфа аварийного выброса представлена на рис. 1. Пунктиром выделена область обнаружения бериллия, которая приблизительно составила 12 тысяч квадратных километров.

В общем виде величина экологической опасности зависит от большого числа параметров [4-7], поэтому выделение влияния коэффициента риска позволит реально оценивать возможное влияние существующих промышленных предприятий, а также строящихся или проектируемых, на появление экологической опасности в регионе и масштабы возможных нарушений, связанных с риском.

Имея информацию о размерах последствий, нами была решена обратная задача оценки стоимостного коэффициента пропорциональности (по площади распространения газового облака, рассчитывалась мощность выбросов) и проведены вычисления экологического риска PR и величины экологической опасности $G_{оп}$:

$$G(P_r) := \left[\left(\frac{N_{ter}}{S_{pdk} \cdot N_{str}} + 1 \right) + 1 \right]^{0,9} \cdot \left[\left(5 \cdot \frac{S_{ter}}{S_{pdk} \cdot S_{reg}} + 1 \right) + 1 \right]^{0,1} \cdot \left[\left(\frac{N_{ter}}{S_{pdk} \cdot N_{str}} + 1 \right) + 1 \right]^{0,9} \cdot \left[\left(5 \cdot \frac{S_{ter}}{S_{pdk} \cdot S_{reg}} + 1 \right) + 1 \right]^{0,1} \cdot \frac{P_r}{P_{y+5}}, \quad (1)$$

где S_{pdk} – сумма ПДК выброшенных веществ в воздухе; N_{ter} – плотность населения, проживающего на рассматриваемой загрязнённой территории; N_{str} – средняя плотность населения страны; S_{ter} – площадь территории с загрязнённой атмосферой; S_{reg} – площадь экологически однородного региона, включающего данную территорию.

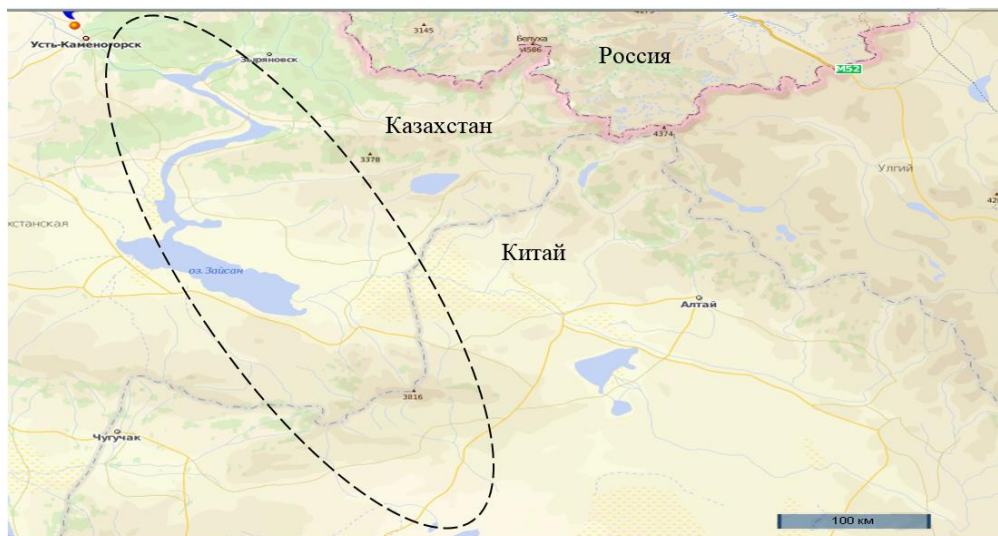


Рисунок 1 – Распространение шлейфа аварийного выброса УМЗ

В результате наших исследований, проведенных для характерных данных Усть-Каменогорских промышленных предприятий, был произведен анализ влияния весового коэффициента риска на величину экологической опасности в относительных единицах. Так, на рис. 2 представлена зависимость изменения величины экологической опасности от коэффициента риска г. Усть-Каменогорска $G_{оп}(Pr)$.

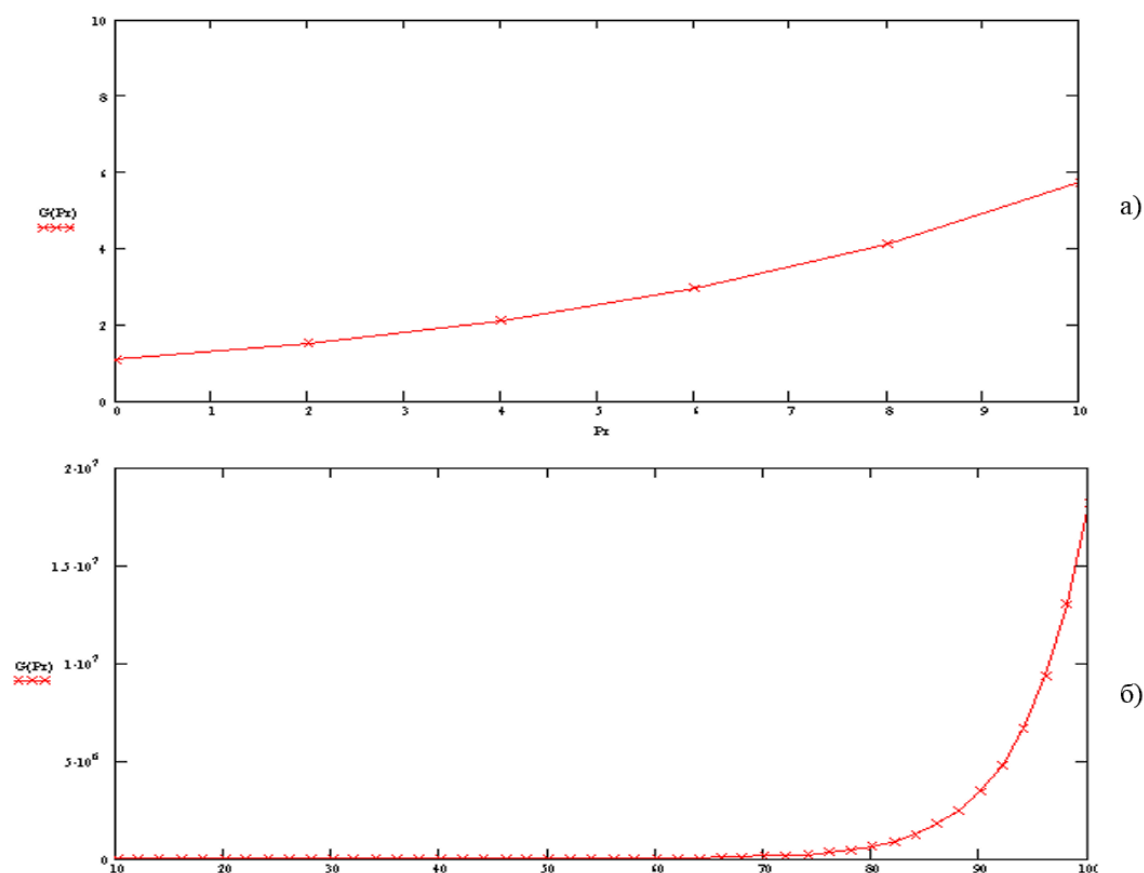


Рисунок 2 – Графики зависимости величины экологической опасности от величины экологического риска: а) при малых значениях риска; б) при больших значениях риска

Важным результатом является выявление области P_r , где проявляется сильное влияние коэффициента риска на величину экологической опасности [8]. При значении коэффициента 70-100 наблюдается увеличение экологической опасности с низкого уровня (рис. 2, а) – 1...10 условных единиц до (рис. 2, б) 106...107 условных единиц. При этом дальнейшие исследования по вероятности проявления таких событий позволят спрогнозировать вероятность появления высокой экологической опасности и следовательно, предотвратить данную ситуацию.

Кроме этого, используя данные по конкретному промышленному предприятию, можно определять риски, появляющиеся от работы этого предприятия, без проведения количественных измерений загрязняющих веществ [8] на территории изучаемого региона. Также полученная информация позволяет спрогнозировать вероятность появления экологической опасности, приводящей к необратимым геоэкологическим изменениям.

Полученные значения P_r для аварийного выброса 1990 года АО УМЗ отображены на рис. 3 пунктирными линиями. Расчетное значение экологического риска в относительных условных единицах составляет 972 единицы и показывает, что рассчитанные на реальных данных значения находятся в зоне большого градиента роста показателя экологической опасности и составляют $6,79 \cdot 10^{12}$ в условных относительных единицах.

Реально данное значение показывает, что при аварийных выбросах такого масштаба происходит ухудшение состояния экологической обстановки [9] в регионе в миллионы раз, так как при нормально работающем предприятии риски имеют показатели равные 102...103 в условных относительных единицах.

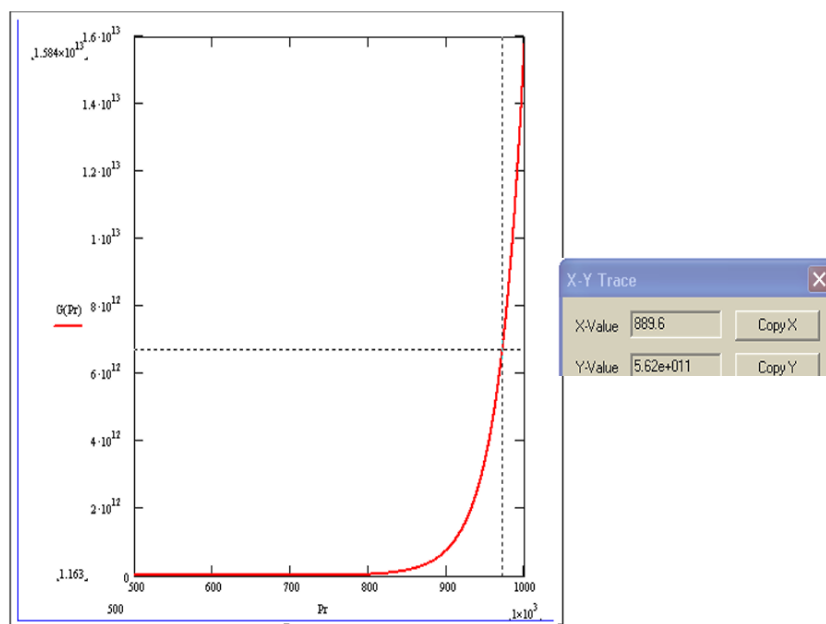


Рисунок 3 – Полученные значения Pr для аварийного выброса 1990 г. АО УМЗ

Также были проведены исследования влияния залповых выбросов промышленного предприятия Восточно-Казахстанской области ТОО «Казцинк». Полученные технические данные по распространению и нахождению химических элементов, присутствовавших в залповом выбросе данного предприятия были использованы при расчете по нашей методике, аналогично как и с АО УМЗ. Расчетные значения для экологического риска Pr и величины экологической опасности $G_{оп}$, составляющие 889,6 и $5,62 \cdot 10^{11}$ соответственно, отображены на рис. 4 пунктирными линиями.

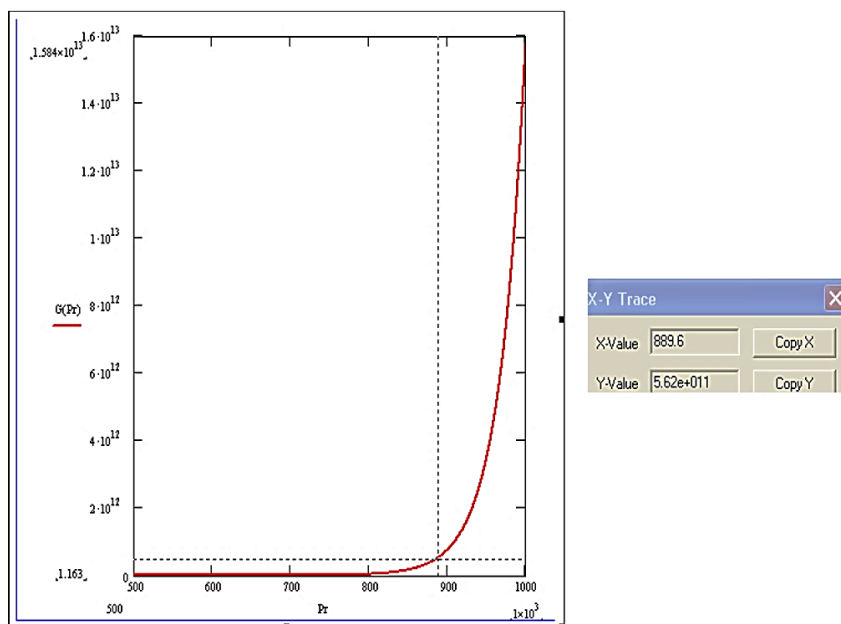


Рисунок 4 – Полученные значения Pr для залпового выброса ТОО «Казцинк»

Приведенные результаты сравнения расчетных и реальных значений экологической опасности аварийных и залповых выбросов показывают, что предложенная методика правильно количественно оценивает риски выбросов промышленных предприятий и их влияние на величину ущербов.

Работа поддержана грантом научного проекта МОН РК по договору №132 от 12 марта 2018 г. (№AP05135992).

Список литературы

1. Турганбаев Е.М., Бугубаева А.Ж. Разработка информационно-моделирующей технологии для мониторинга атмосферного загрязнения // Вестник ВКТУ им. Д. Серикбаева. – Усть-Каменогорск, 2011. – № 4. – 199 с.
2. Рахметуллина С.Ж., Бугубаева А.Ж. Разработка математического обеспечения системы мониторинга атмосферного загрязнения // Вестник ВКТУ им. Д. Серикбаева. – Усть-Каменогорск, 2012. – № 2. – 107 с.
3. A.Baklanov, T. Dmitrieva, K. Tulendenova, A. Bugubayeva, M. Rakhimberdinova Environmental thread calculation dealing with the risk of industrial atmospheric emission Computational and information technologies in science engineering // 9th International Conference, CITech September 25-28, 2018. – Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, 2018. – P. 23-33. Revised Selected Papers.
4. Швыряев А.А., Меньшиков В.В. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе: Учебное пособие для вузов. – М.: МГУ, 2004. – 124 с.
5. Доброчеев О.В. Рассеяние тяжелых газов в атмосфере. Физический механизм. Математические модели. – М.: РНЦ «Курчатовский институт», 1993.
6. Едигаров А.С. Численный расчет турбулентного течения холодного тяжелого газа в атмосфере // Журнал вычисл. математики и мат. физики. – 1991. – Т. 31. – № 9. – С. 1369-1380.
7. Аверин Л.В., Кондрашков Ю.А., Щевяков Г.Г. Исследование процесса перемешивания на участке взаимодействия струи с поперечным сносящим потоком // Инженерно-физический журнал. – 1985. – Т. XIX. – № 5. – С. 751-756.
8. Детков С.П., Детков В.П., Астахов В.А. Охрана природы нефтегазовых районов. – М.: Недра, 1994.
9. McNaughton D.J. Errors Inherent in Wind Inputs to Unlied Source and Dispersion Models // J. Air Waste Manage. Assoc. – No. 7. – P. 1018-1020.

Получено 3.11.2020

MFTAA 27.35.33; 28.17.19

Ж.Т. Рахметуллина¹, Р.У. Мукашева¹, Р.О. Мухамедова¹, И.М. Увалиева¹, Н.А. Сулейменов²

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ.

²Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы, Курчатов қ.

РАДИАЦИЯЛЫҚ ҚЫЗДЫРУ КЕЗІНДЕГІ РЕАКТОРДА ЭНЕРГИЯ БӨЛІНУІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛДЕРІ

Мақалада эксперименттік құрылғының құрылымдық элементінің радиациялық қызуын анықтау үшін имитациялау кезінде ANSYS Fluent-те кеңістіктік және уақыттық энергиясын босатудың қолданушы функциясын құрастыру бойынша зерттеу нәтижесі сипатталған. Зерттеуде материалдарды радиациялық жылыту кезінде энергияны босатудың кеңістіктік және уақыттық бөлінуін белгілеу үшін пайдаланушымен анықталған UDF функциялары өзірленді. Эксперименттік құрылғы элементінің радиациялық қызуының термофизикалық есептеулері жүргізілді.

В статье описаны результаты исследования по проектированию пользовательской функции пространственно-временного выделения энергии в ANSYS Fluent при моделировании для определения лучистой теплоты структурного элемента экспериментального устройства. В ходе исследования были разработаны определяемые пользователем функции UDF для определения пространственного и временного распределения выделяемой энергии при лучистом нагреве материалов. Проведены теплофизические расчеты лучистого тепла элемента экспериментальной установки.

The paper describes the results of a study on the design of the spatial-temporal energy distribution function in ANSYS Fluent when modeling to determine the best heat of the structural element of the experimental device. During the study, the UDF function was used to determine the spatial and temporal distribution of energy allocated to the best heating materials. Thermophysical calculations of the radiant heat element of the experimental installation were carried out.

Түйін сөздер: реактор, радиациялық қыздыру, энергия бөлу, математикалық модель, UDF функциясы, ANSYS Fluent.

Кіріспе. Қазіргі кезде ядролық деректердің дұрыстығын тексеру үшін импульсті графитті реакторының (ИГР) сәулеленуі арқылы құрылымдық материалдардың радиациялық қыздыру температурасын өлшеудің тәжірибелік нәтижелерін өңдеу әдісі ұсынылады [1]. Біріншіден, кіші өлшемдердің үлгілерін еркін салқындату мәселесі шешіледі және шекаралық жағдайлардың тұрақтылары таңдап алынады, олар бойынша есептеу нәтижесі арнайы әзірленген экспериментпен сәйкес келеді. Содан кейін, таңдалған константалар көмегімен үлгідегі температура өрісі үлгідегі жылуды қайта бөлуді және бір мезгілде салқындатуды ескере отырып, реактордан сәулелену арқылы бірқалыпты емес қыздыру кезінде есептеледі [2-4].

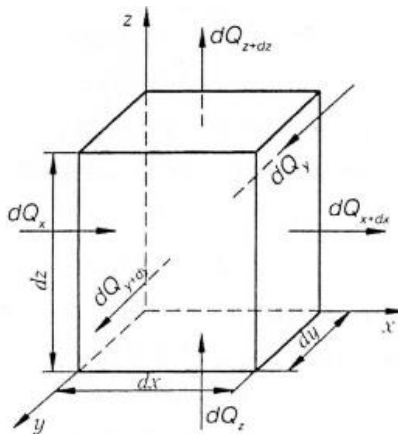
Термодинамикалық процестер жылу қондырғыларының жұмыс кеңістігінде, сондай-ақ құрылымдық элементтер мен құрылымдық элементтер мен қоршаған кеңістіктегі жылуды тасымалдаумен қатар жүреді. Жылу – энергияның сандық көрсеткіші болғандықтан, көп денелер арасында жылу алмасу орын алады [5]. Жылу алмасу (жылу беру) теориясымен қарастырылады. Жылумен жабдықтау саласындағы білімнің қандай да бір нысанда қолданылмайтын технологиялардың саласын айту қиын.

Реакторда энергия бөлінуінің математикалық моделі. Дифференциалдық жылу беру теңдеуін алудың негізі энергияны сақтау заңы болып табылады (1):

$$dQ = dU \quad (1)$$

Модель (1) жылу өткізгіштікке байланысты dt уақытында dt элементінің қарапайым көлеміне dv енгізілген жылу dQ саны dU уақытындағы қарапайым көлемдегі ішкі энергияның өзгеруіне теңдігін білдіреді.

Денедің dx , dy , dz жақтары бар элементар параллелепипедті тиісті координаттық өстерге параллель етіп бөлеміз (1-сурет). Бұл параллелепипед көлемі, демек, $dv = dx dy dz$.



1-сурет – Дифференциалдық жылуөткізгіштіктің теңдеуін алу диаграммасы

dt уақыт ішінде Ox өсі бағытында $dydz$ қырына жүргізілген жылу санына $dQ_x = q_x dy dz dt$ тең, мұнда q_x – жылу ағыны тығыздығының көрсетілген қырға қарай нормаланған проекциясы. Ox өсі бағытында элементарлық параллелепипедтің қарама-қарсы қырынан бөлінген жылу саны $dQ_{x+dx} = q_{x+dx} dy dz dt$ құрайды.

Параллелепипедке жүргізілген жылу саны мен одан $d\tau$ уақыт ішінде Ox осінің бағытында бөлінген жылу саны арасындағы айырмашылық (2):

$$dQ_x = dQ_x - dQ_{x+dx} = q_x dydzd\tau - q_{x+dx} dydzd\tau \quad (2)$$

q_{x+dx} функциясы қарастырылып отырған dx интервалында үздіксіз болып табылады және егер оны тейлор қатарына жатқызса және қатардың бірінші екі мүшесімен шектесе, онда белгісіз функцияға q_{x+dx} жақын теңдікті жазуға болады (3):

$$q_{x+dx} \approx q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx, \quad (3)$$

dx аз болса, дәлірек. Сонда теңдіктен (4) аламыз:

$$dQ = -\frac{\partial q_x}{\partial x} dv d\tau. \quad (4)$$

Егер дене көлемінің ішкі энергиясын қарастырсақ, $U = U(t, v)$ онда (5):

$$dU = C_v \frac{\partial t}{\partial \tau} dv d\tau = c_v p \frac{\partial t}{\partial \tau} dv d\tau, \quad (5)$$

мұндағы, C_v – көлем бірлігінің изохорлық жылу сыйымдылығы, Дж/(м³×К);

c_v – зат массасы бірлігінің изохорлық жылу сыйымдылығы (меншікті жылу сыйымдылығы), Дж/(кг×К); p - заттың тығыздығы.

Алынған (4) және (5) өрнектерді (1) теңдеуге орналастырғаннан кейін (6):

$$c_v p \frac{\partial t}{\partial \tau} = -\frac{\partial q_x}{\partial x}, \quad (6)$$

Тұрақты жылу өткізгіштік Фурье заңын ескере отырып (7):

$$q_x = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}, \quad (7)$$

(6) теңдеуден (8) алуға болады:

$$c_v p \frac{\partial t}{\partial \tau} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(-\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right), \quad (8)$$

немесе ықшамды түрде (9):

$$c_v p \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (9)$$

Бір өлшемді жылу ағыны үшін дененің стационарлы емес жылу өткізгіштігінің дифференциалды теңдеуі (9) болып табылады [6].

$\frac{\lambda}{c_v p} = a$ белгілеу енгізсе, онда теңдеу (10) түрге келеді:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}. \quad (10)$$

Жалпы жағдайда, q векторын координаттық өстер бойынша үш құрамдас бөлікке бөлуге болады. Сол кезде, ұқсас түрде талдай отырып, элементарлық көлемге және Ox және Oz , екі басқа координаттық өстерінің бағыттарында жүргізілген жылу мөлшерін табуға болады және (10) теңдеуінің кеңістіктегі жалпылауы жылуөткізгіштіктің дифференциалды теңдеуін түрінде алуға болады.

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) = a \nabla^2 t. \quad (11)$$

мұндағы, $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – декарттық координаттар жүйесіндегі Лаплас операторының өрнегі.

Дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер (11) жылу тасымалының изохорлық процесі үшін Энергияны сақтаудың дифференциалдық теңдеуі немесе стационарлы емес жылу өткізгіштік теңдеуі болып табылады. Ол жылу өткізу процесі болатын қатты дененің кез келген нүктесінде температураның уақытша және кеңістіктік өзгеруі арасындағы байланысты орнатады.

Реакторда энергия бөлінуінің компьютерлік моделі. Материалдарды радиациялық қыздыруды модельдеу үшін ИГР реакторында Fluent бағдарламалық қамтамасыз ету қолданылды. Fluent қысылмайтын және қысылатын сұйықтық және күрделі геометриялардағы жылу алмасу ағынын талдауға мүмкіндік береді [7]. Бұл үшін Fluent-те есептеу үлгілері, материалдар, шекаралық шарттар мен шешім параметрлері көрсетіледі.

Workbench-да геометрияға есептеу торы қолданылады, содан кейін Fluent көмегімен сәйкес келетін математикалық модельдер анықталады. Fluent математикалық теңдеулерді шешеді және модельдеу нәтижелері Fluent-те немесе CFD-Post-те одан әрі талдау үшін көрсетілуі мүмкін.

Есептеу үшін бастапқы деректер 1-кестеде келтірілген.

1-кесте

Есептеу үшін бастапқы деректер

Параметр	Мәні
Құбыр өлшемдері, мм	40 × 56 × 975
Құбыр материалы	Болат 12X18H10T
Модельдің алғашқы температурасы, К.	673
Энергияны босату қуаты, W	1000
Натрий тұтыну, г / с	15

Пайдаланылған материалдардың термофизикалық қасиеттері әдебиет көздерінен алынған [8] және 2 және 3-кестеде келтірілген.

2-кесте

Натрийдің термофизикалық қасиеттері

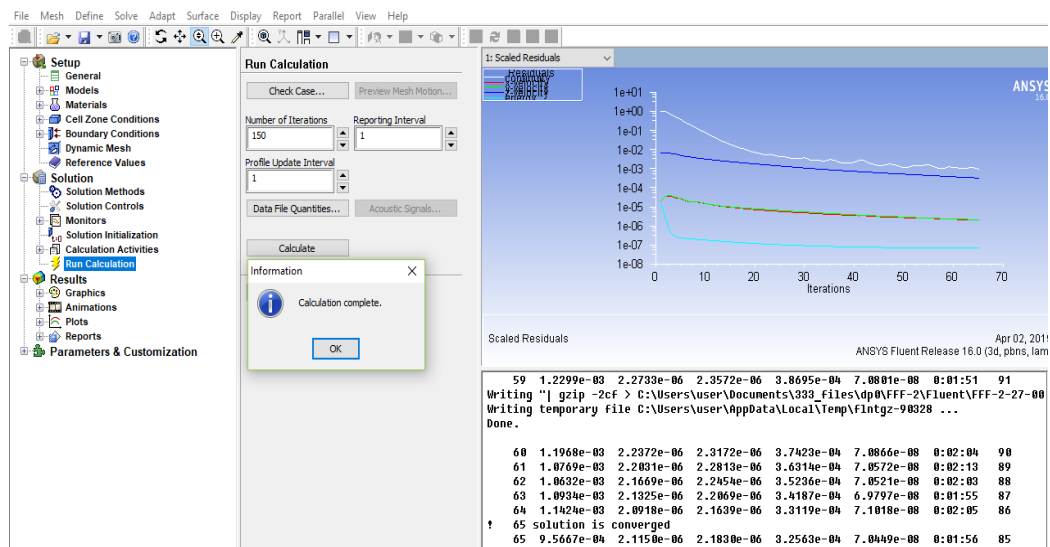
T, K	$m, кг$	$J / (м \times K)$	$W / (м \times K)$	$J / (м \times c) \times 10^{-4}$
1	2	3	4	5
371	929	1378	84	6.22
400	920	1373	84	6.07
450	908	1340	82	4.99
500	897	1327	80	4.21
550	886	1306	77	3.63
600	874	1298	75	3.23
650	862	1285	72	2.93
700	849	1273	70	2.71
750	838	1264	67	2.51
800	827	1256	65	2.31
850	816	1256	63	2.12
900	803	1256	60	2.01
950	790	1264	58	1.89
1000	778	1269	55	1.78
1100	768	1290	48	1.68
1200	740	1310	43	1.55

3-кесте

12X18H10T болаттың термофизикалық қасиеттері

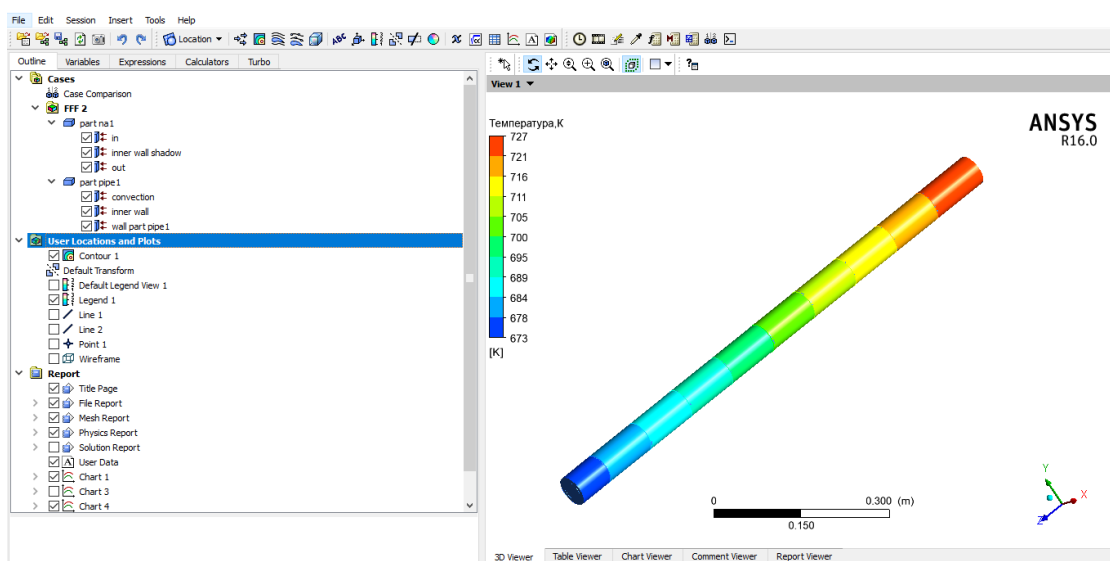
T, K	$m, кг$	$J / (м \times K)$	$W / (м \times K)$
100	7920	462	16
200	7920	496	18
300	7920	517	19
400	7920	538	21
500	7920	550	23
600	7920	563	25
700	7920	575	27
800	7920	596	26

Графикалық терезеде шешілетін теңдеулердің саны бойынша таңғыштардың деп аталатын айнымалы графигі бейнеленеді, ал мәтіндік терезеде итерациядан итерацияға дейінгі таңғыштардың өзгеру кестесі шығарылады. Қажетті итерация саны аяқталғанда немесе қандай да бір итерацияда барлық таңғыштар 0.001 алдын ала қабылданған бойынша белгіленген мәннен аз болады, шешім шықты деп есептеледі (2-сурет). Есептеуді қалдықты сызықтандыруға дейін жүргізу қажет.



2-сурет – Шешім іздеудің графикалық терезесі

Есептеу нәтижелері CFD-Post-да талданды. Нәтиже 3-суретте көрсетілген.



3-сурет – Есептеу нәтижесі

Жүргізілген есептеу эксперименті энергия бөлу құбырдың барлық ұзындығы бойынша бірқалыпты болып қалатынын көрсетті.

Қорытынды. Сонымен, мақалада сипатталған зерттеу жұмыс аясында термофизикалық есептеулердің жұмысын оңтайландыру үшін қолданушы функциясы әзірленді. Стационарлық режимде бірқалыпты энергия бөлетін құбырлардың радиациялық қыздыруын есептеу кезінде эксперимент энергия бөлу құбырдың барлық ұзындығы бойынша бірқалыпты болатынын көрсетті.

Әдебиеттер тізімі

1. Иркимбеков Р. А. и др. Энерговыделение в модельной ТВС при тепловых испытаниях в импульсной реакторной установке. – 2016.
2. Okumura T. et al. Development and pilot test of sterilization system using discharge reactor for hydroponics solution //2016 IEEE International Conference on Plasma Science (ICOPS). – IEEE, 2016. – С. 1-1.
3. Алексеев А.В. и др. Расчётные исследования динамики температуры твэлов в трёхэлементной сборке в условиях кризиса теплоотдачи при импульсном возрастании мощности // Сборник трудов АО ГНЦ НИИАР. – 2019. – №. 2. – С. 30-39.
4. Shamanin I. V. et al. Power density dynamics in a nuclear reactor with an extended in-core pulse-periodic neutron source based on a magnetic trap //Nuclear Energy and Technology. – 2020. – Т. 6. – С. 175.
5. Воинов М. А. и др. История создания и развития импульсных ядерных реакторов в РФЯЦ-ВНИИЭФ // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. – 2017. – №. 4. – С. 5-20.
6. Кожабаяев З. Б., Жагипарова Л. К., Иркимбеков Р. А. Выбор параметров работы игр при проведении экспериментов с модельными ТВС // Вестник НЯЦ РК выпуск. – 2019.
7. Кресов Д. Г., Куликов А. В., Оленская Е. В. Обеспечение повышенных ресурсных характеристик судовых реакторных установок //Атомная энергия. – 2019. – Т. 127. – №. 1. – С. 8-13.
8. Imholte D. D., Aydogan F. Comparison of nuclear pulse reactor facilities with reactivity-initiated-accident testing capability //Progress in Nuclear Energy. – 2016. – Т. 91. – С. 310-324.

Получено 3.11.2020

МФТАА 31.15.17, 31.15.19

А.В. Русакова¹, А.А. Машенцева², Г.К. Даумова¹

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс-Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен қ.

²ҚР ядролық физика институты, Алматы қ.

ЖЫЛДАМДАТЫЛҒАН ЭЛЕКТРОНДАРДЫҢ ӘСЕРІНЕН ФУНКЦИОНАЛДЫҚ МОНОМЕРЛЕРМЕН ТРЕКТІ МЕМБРАНАЛАРДЫҢ ПЭТФ БЕТІНІҢ МОДИФИКАЦИЯСЫ

Бұл зерттеу полиэтилентерефталат негізінде тректі мембраналардың радиациялық-кіргізу модификациясының жоғары энергетикалық электрондарын қолдану мүмкіндігін қарастырады. Жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде суды сүзу және тазалау үшін қолдануға болатын жылдамдатылған электрондармен ПЭТФ ТМ радиациялық-химиялық модификациялаудың оңтайлы жағдайлары анықталды.

Данное исследование рассматривает возможность применения высокоэнергетичных электронов радиационно-прививочной модификации трековых мембран на основе полиэтилентерефталата. В результате проведенных исследований были определены оптимальные условия радиационно-химического модифицирования ПЭТФ ТМ ускоренными электронами, которые могут использоваться для фильтрации и очистки воды.

This study considers the possibility of using high-energy electrons for radiation-grafting modification of track membranes based on polyethylene terephthalate. As a result of the conducted research, the optimal conditions for radiation-chemical modification of PET TM with accelerated electrons that can be used for water filtration and purification were determined.

Түйін сөздер: тректі мембраналар, жылдамдатылған электрондар, полимер, сәулелендіру, ПЭТФ (полиэтилентерефталатты тректі мембраналары).

Kipicne. Радиациялық кіргізу полимеризациясы әртүрлі табиғи материалдарды модификациялаудың және жаңа композициялық материалдарды алудың тиімді және әмбебап әдісі болып табылады [1]. РКП әдісі әртүрлі мономерлердің (акрилаттар, винилпирридиндер, акриламидиндер, NIPAM, N-винилпирролидон және басқалары) кіргізу полимеризациясымен иондаушы сәулеленудің әсерімен әртүрлі полимерлерде радикалды және иондық табиғаттың белсенді орталықтарын генерациялауға негізделген [2]. Әдістің жоғары әмбебаптығы табиғаты, мөлшері және пішіні әртүрлі кез келген полимерлерді модификациялауға мүмкіндік береді.

РКП екі әдісінің салыстырмалы зерттеуі мономердің қатысуымен бір мезгілде сәулеленумен және электрондар көзіндегі ПЭТФ тостағандардың сәулеленуі мысалында пост-тиімділік әдісін қолдану (қуаты 7 МэВ желілік үдеткіш, дозаны теру жылдамдығы 21 Гр/импульс) жұмысында жүргізілді [3]. Пост-әсерге негізделген кіргізу неғұрлым тиімді болып табылады, себебі модификацияланған мембрананы кіргізу дәрежесі үлкен және мономер шығыны азырақ алуға мүмкіндік береді.

ПЭТФ ТМ кеуектерінің өлшемдеріне γ -сәулеленудің әсері [4] жұмысында зерттеліп, 160 кГр дозасынан кейін кеуектердің тиімді диаметрінің бақыланылатын тарылуы өткізгіштік мәліметтері бойынша кеуектер диаметрінің үлкеюімен қатар жүретіні анықталды. Мұндай сәйкессіздік γ -сәулелендіру барысында зарядты қабылдауға қабілеті бар гель-қабат түзілетінімен түсіндіріледі.

Полимерлер мен полимерлі мембраналарға арналған функционалды мономерлердің РКП бойынша жұмыстарының едәуір саны плазмалық кіргізу әдістеріне арналған [5, 6]. Алайда, бұл технологияның елеулі кемшілігі кіргізілген қабаттың мерзімінің аздығы болып табылады, бұл олардың одан әрі практикалық қолданылуын едәуір қиындатады. Espinoza және бірлескен авторлар [7] конфокальды микроскопия және флюоресценция көмегімен мембраналар каналдарына кіргізілетін буындарды талдау және визуализациялаудың тиімді әдісін әзірледі. Авторлар глицидилметакрилатты РКП әдісімен ПЭТФ ТМ кеуектерінің ішіне кіргізді.

РКП әдісі мембраналарға функционалды мономерлерді кіргізудің жақсы зерттелген және тиімді әдісі болып табылатыны анық, көп жағдайда полимерді кіргізу тек бетте ғана емес, ТМ каналдарының ішінде де жүзеге асырылады [8, 9], бұл оларды кейіннен дәрілік заттардың бақыланытын босатылуын селективті филтрция үдерістерінде [10] табысты қолдануға, молекулалық айырғыштар, стереоселективтік електер ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Бұл жұмыста жылдамдатылған электрондармен тікелей сәулелену әдісі таңдалынды.

Эксперименттің материалдары мен әдістері. Химиялық реактивтер ретінде АҚ (акрил қышқылы) және SigmaAldrich-тан (Германия) толундинді көк (ТК) алынды. АҚ қолданар алдында алюминий оксиді бар баған арқылы өткізу жолымен ингибитордан тазартылды. Барлық эксперименттерде АквилонD-301 қондырғысының көмегімен алынған деионизацияланған су (18,2 Мо) қолданылды.

Экспериментті жүргізу үшін «Mitsubishipolyesterfilm» (Германия) фирмасының Hostaphan® RNK-12 сауда маркасының ПЭТФ пленкасы таңдалынды. Пленканың номиналды қалыңдығы 12 мкм, материалдың тығыздығы – 1,4 г/см³ құрады. ПЭТФ пленкаларының үлгілерін ДЦ-60 ауыр иондарының үдеткішінде 1,75 МэВ/нуклон энергиялы 4×10^7 ион/см² флюенспен $^{84}\text{Kr}^{15+}$ иондарымен сәулелендірді. 85 °С кезінде 2,2 М NaOH химиялық өңдеуден кейін 430 ± 10 нм диаметрлі кеукті мембраналар алынды.

ПЭТФ ТМ үлгілері 0,5 м H₂O₂ ерітіндісінде pH=3 (HCl) кезінде 240 мин бойы УК-сәулеленудің астында (254 нм кезінде 190 W) тотықтырылды, содан кейін деионизацияланған сумен екі рет шайылып, бөлме температурасында ауада 5 сағат бойы кептірілді [11]. Содан кейін өлшемі 1 см² ПЭТФ ТМ үлгісі концентрациясы $5 \cdot 10^{-4}$ М ТК бояғышының 10 мл сілтілі ерітіндісіне (NaOH, pH=10) орналастырылды. Сілкілеу аяқталғаннан кейін үлгі NaOH (pH=10) ерітіндісінде шайылып, екі рет деионизацияланған суда жуылып және ауада сүзгіш қағазда кептірілді. Боялған үлгілерді десорбциялау 5 мл 50 % сірке қышқылы ерітіндісінде жүргізілді. Алынған боялған ерітіндінің оптикалық тығыздығы 633 нм толқын ұзындығында анықталды.

Бастапқыда алдын ала тотыққан ПЭТФ ТМ беті ультрадыбыстық булануда ацетонмен тазартылды, содан кейін олар әртүрлі концентрациядағы АҚ мономері ерітіндісіне орналастырылды. Гомополимеризация үдерісін болдырмау үшін реакциялық қоспаға 1 % мөлшерінде CuSO₄ қосылды. Мономердің құрамы 5-20 % салмақ диапазонында өзгерілді. Бұдан әрі реакциялық қоспа

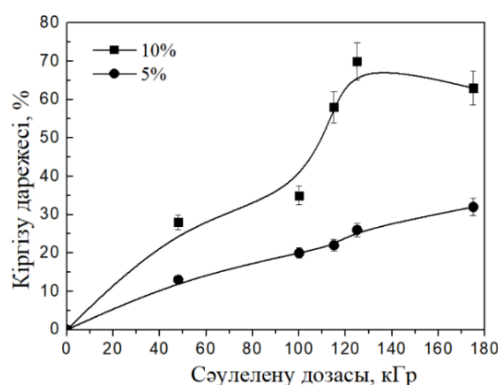
ерітілген оттекті жою үшін аргонмен үрленді. Үлгілердің сәулеленуі ИЛУ-10 электрондардың сызықты үдеткішінде жүргізілді.

Сәулеленгеннен кейін үлгілер 60 °C-та суда 24 сағат бойы ұсталынып, тұрақты салмаққа дейін кептірілді. Дозаларды таңдау диапазоны 46-200 кГр-ды құрады, үлгілер ИЛУ-10 электрондардың (Курчатов қ.) үдеткішінде ауа атмосферасында сәулелендірілді. Мұнда электрондар энергиясының мәні 3,8 МэВ, электрондық шоғырдың орташа тогы 6,84 мА құрады. Сәулелендіру мөлшері тұрақты жылдамдықпен электрондық шоғыр астында үлгілерді ұстаушысының санын өзгерту жолымен өзгеріп, В3WinDose (Gex, АҚШ) электрондық дозиметрлерімен бақыланды. Дозаны өлшеу қателігі барлық жүргізілген эксперименттерде 10 %-дан аспады.

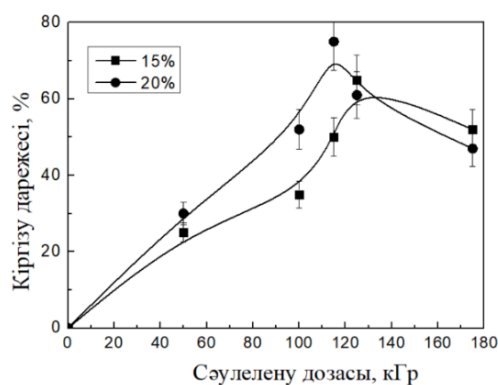
Нәтижелер мен талқылау. Жылдамдатылған электрондар ағынымен сәулеленгеннен кейін АҚ кіргізу дәрежесінің өзгеру нәтижелері 1, а, б-суреттерінде көрсетілген. Кіргізу дәрежесі келесі (1) өрнек арқылы гравиметриялық әдіспен анықталынды:

$$\alpha = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \% \quad (1)$$

мұндағы, m_0 және m – ПЭТФ ТМ кіргізуге дейін және кейінгі массалары.



а



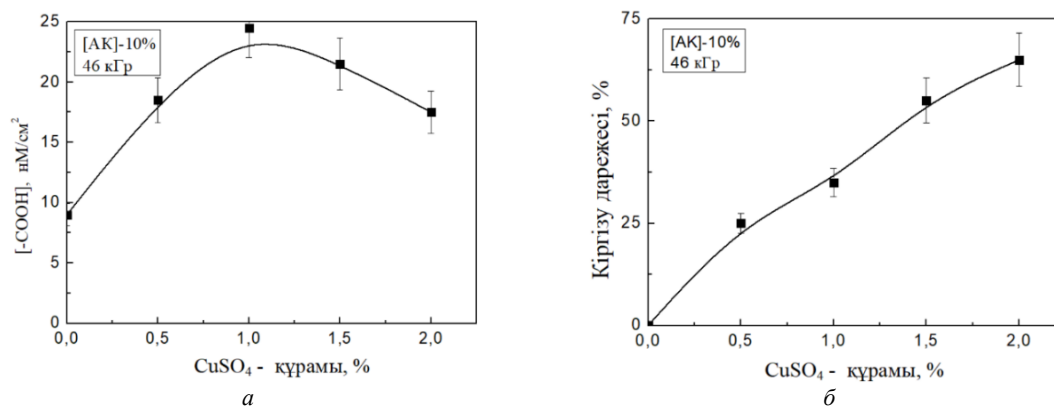
б

1-сурет – ПЭТФ ТМ-ға АҚ-ны кіргізу дәрежесінің сәулелену дозасынан тәуелділік графигі

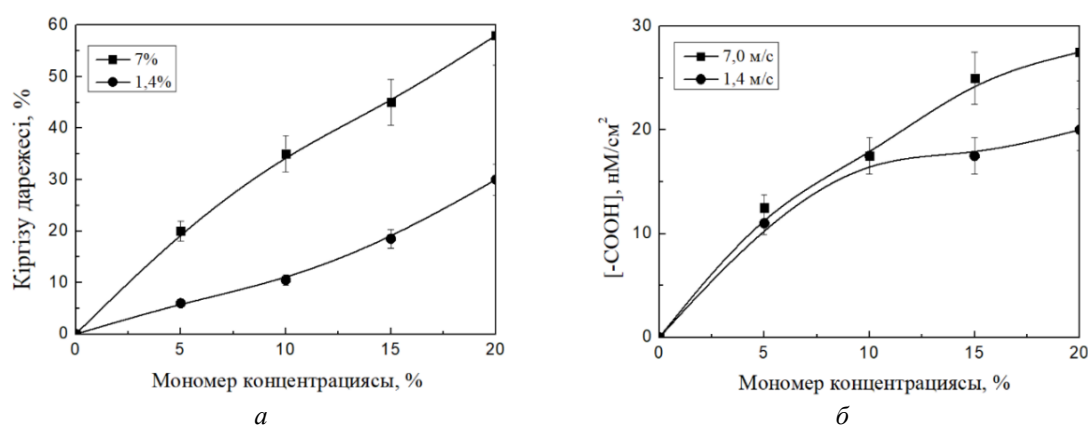
Дозасы 128 кГр-дан жоғары электрондармен сәулеленгеннен кейін 15-20 % концентрациялы АҚ бар жүйелер үшін кіргізу дәрежесі мәндерінің азаюы (1, б-сурет) ерітіндіде АҚ гомополимеризациялау үдерісінің басым болуына байланысты болуы мүмкін.

Бұған сондай-ақ ТК әдісі бойынша анықталған соңғы карбоксильді – COOH топтардың концентрациясының азаюы дәлел болып табылады (2-сурет) [12]. АҚ мономері концентрациясының ұлғаюымен, ТМ-төсемеге жақын маңдағы мономердің көп қол жетімділігіне байланысты кіргізу дәрежесі артады.

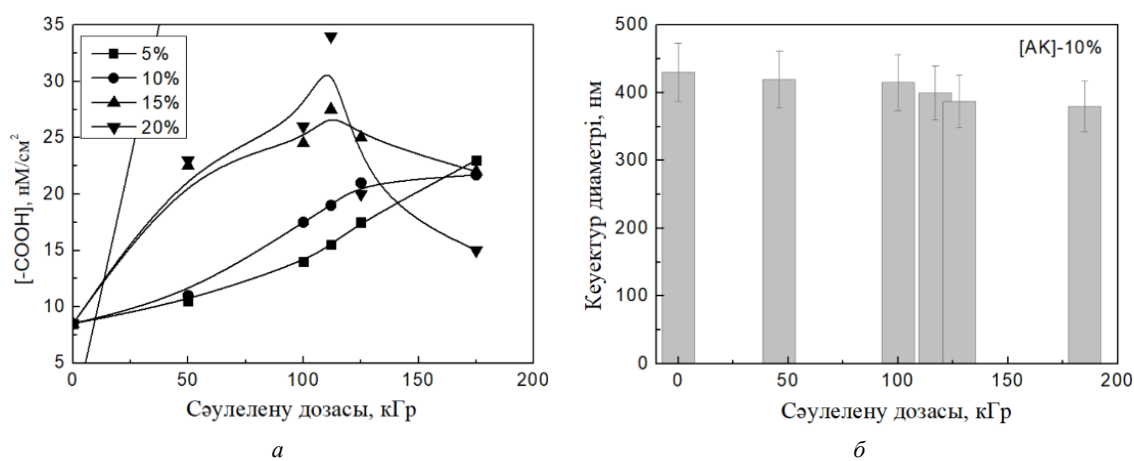
2-суретте көрсетілген мәліметтерден көрініп тұрғандай, кіргізудің тиімділігіне мономер концентрациясы да, реакциялық ортада гомополимер түзілу ингибиторының концентрациясы да айтарлықтай әсер етеді. Үдеткіштің конвейер секциясының сәулелену жылдамдығы сияқты параметрдің әсері де зерттелінді, нәтижелер 3, а, б-суреттерінде келтірілген. Конвейер секциясының бір өтуі үшін 1,4 м/с жылдамдығы кезінде сәулелену дозасы шамамен 46-50 кГр құрады, ал жылдамдығы 7,0 м/с болған кезде электронды шоғыр астындағы конвейер секциясының бір «жүрісінде» үлгінің сәулелену дозасы 4,8-5,0 кГр аспады. Үдеткіш конвейерінің 7,0 м/с жылдамдығында 46,2 кГр минималды дозасы шоғыр астында үлгінің 10 жүрісінен кейін ғана жиналған. 4-суретте көрсетілген деректер АҚ-ның ПЭТФ бетіне кіргізу дәрежесі конвейердің аз жылдамдықпен бір «жүрісінен» қарағанда жоғары жылдамдықпен (шамамен 70-80 %) жылдамдатылған электрондар шоғырының астында үлгілердің бірнеше рет өтуі кезінде айтарлықтай жоғарылайды.



2-сурет – Жылдамдатылған электрондармен сәулеленген кезде соңғы карбоксильді топтар концентрациясының (а) және кіргізу дәрежесінің (б) полимерлеу ингибиторының концентрациясынан өзгеруі



3-сурет – АҚ-ның ПЭТФ ТМ (а)-ға кіргізу дәрежесіне және соңғы – COOH тобы (б) концентрациясынан ИЛУ-10 үдеткіш конвейерінің сәулелік секциясының әртүрлі жылдамдығында АҚ мономерінің концентрациясына байланысты тәуелділік графигі. Сәулелену мөлшері – 100 кГр

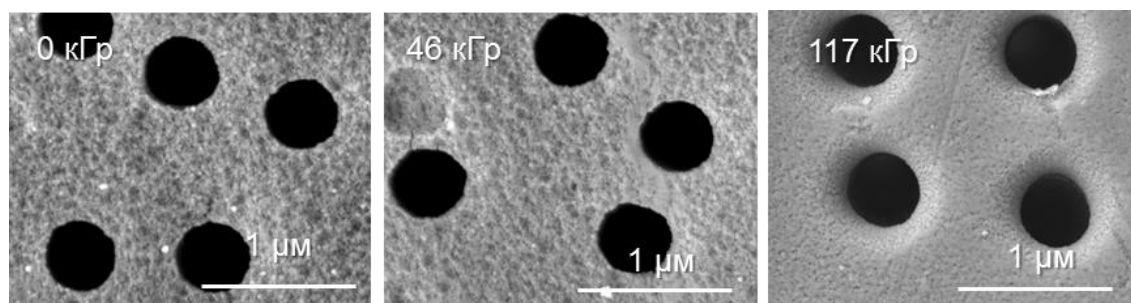


4-сурет – Карбоксильді топтар (а) концентрациясы мен РКП кезінде жұтылған дозадан мембрана (б) кеуектерінің диаметрінің тәуелділік графигі

ТК бояғышын пайдалана отырып, модификацияланған үлгілерді талдау – COOH -топтардың концентрациясы 185 кГр-ға дейін сәулеленгеннен кейін айтарлықтай жоғарылайтынын көрсетті (4, а-сурет) және тек 128 кГр-дан кейін 15-20 % ерітіндіде АҚ мономері бар үлгілердің сериялары үшін – COOH концентрацияларының төмендеуі ерітіндіде АҚ гомополимеризациялау үдерісінің басым болуы себебінен байқалады.

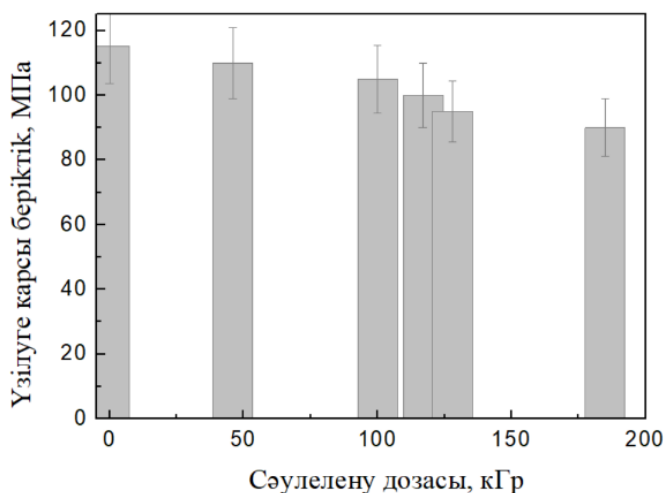
ТМ модификациясының тиімділігін бағалаудың маңызды параметрлерінің бірі кеуектердің өлшемін азайту болып табылады. РКП кеуектерінің диаметрінің өзгеруі растрлық электрондық микроскопия (РЭМ) әдісі арқылы анықталды. Өлшеулер әр жағдайда үлгінің екі түрлі орнынан 5 кеуек саны бойынша жүргізілді (4, б-сурет).

Модификацияланған ТМ түсірілген микрофотографияларда микродеңгейде беттің морфологиясының елеулі өзгеруі және кеуектердің сығылуы байқалады (5-сурет). Дозаны арттырумен бастапқы үлгінің тегіс беті толқын тәрізді құрылымға ие болады.



5-сурет – Әртүрлі дозада АҚ кіргізуден кейін ПЭТФ ТМ бетінің электронды микрофотографиялары (АҚ – 10 %, CuSO_4 – 1 %)

Беріктік полимерлі мембранаға қойылатын негізгі технологиялық талаптардың бірі болып табылады. Сондықтан, ПЭТФ ТМ әртүрлі дозаларында бастапқы және модификацияланған үлгілер үшін үзілуге қарсы беріктік көрсеткіші зерттелінді. Бұл жұмыста үзілуге механикалық беріктігі 10-110 МПа қысыммен ауаны үлгі арқылы өткізіліп, стенділік қондырғыда анықталды. 185 кГр доза кезінде бастапқы үлгілермен салыстырғанда 30-35 %-ға ПЭТФ ТМ-ның сынғыштығы байқалатынын атап өту қажет, бұл одан әрі оларды практикалық қолдануды қиындатады (6-сурет).



6-сурет – Сәулелендіру дозасына байланысты модификацияланған ПЭТФ ТМ үзілуге қарсы беріктігінің өзгеруі (АҚ – 15 %, CuSO_4 – құрамы 1 %)

Осылайша, жүргізілген зерттеулерде полимерлік темплаттың механикалық беріктігін сақтай отырып, функционалды мономерді (АҚ) кіргізудің жеткілікті жоғары дәрежесін алуға мүмкіндік беретін жылдамдатылған электрондардың әсерінен ПЭТФ ТМ радиациялық-химиялық модификациясының оңтайлы шарттары анықталды: CuSO_4 ингибиторының құрамы 1 %-дан, мономер концентрациясы – 10 %-дан аспайды, сәулелену мөлшері – 100-117 кГр-дан аспайды.

Әдебиеттер тізімі

1. Nasef M.M., Güven O. Radiation-grafted copolymers for separation and purification purposes: Status, challenges and future directions // Prog Polym Sci. – 2012. – Vol. 37. – № 12. – P. 1597-1656.
2. Huang Z., Zhang L., Cheng Z., Zhu X. Reversible Addition-Fragmentation Chain Transfer Polymerization of Acrylonitrile under Irradiation of Blue LED Light // Polymers (Basel). – 2016. – Vol. 9. – № 12. – P. 4.
3. Chumakov M.K., Shahamat L., Weaver A., LeBlanc J., Chaychian M., Silverman J., Benjamin Richter K., et al. Electron beam induced grafting of N-isopropylacrylamide to a poly(ethylene-terephthalate) membrane for rapid cell sheet detachment // Radiat Phys Chem. – 2011. – Vol. 80. – № 2. – P. 182-189.
4. Hiroki A., Asano M., Yamaki T., Yoshida M. Effect of γ -irradiation on latent tracks of polyethylene terephthalate (PET) film // Chem Phys Lett - 2005. - Vol. 406. - P. 188-191.
5. Qiu J. China's funding system and research innovation // Natl Sci Rev. – 2014. – Vol. 1. – P. 161-163.
6. Meng T., Xie R., Chen Y.-C., Cheng C.-J., Li P.-F., Ju X.-J., Chu L.-Y. A thermo-responsive affinity membrane with nano-structured pores and grafted poly(N-isopropylacrylamide) surface layer for hydrophobic adsorption // J Memb Sci. – 2010. – Vol. 349. – P. 258-267.
7. Soto Espinoza S.L., Arbeitman C.R., Clochard M.C., Grasselli M. Functionalization of nanochannels by radio-induced grafting polymerization on PET track-etched membranes // Radiat Phys Chem. – 2014. – Vol. 94. – P. 72-75.
8. Korolkov I.V., Gorin Y.G., Yeszhanov A.B., Kozlovskiy A.L., Zdorovets M.V. Preparation of PET track-etched membranes for membrane distillation by photo-induced graft polymerization // Mater Chem Phys. – 2018. – Vol. 205. – P. 55-63.
9. Wu Z., Xuewu G., Juan L., Fang W., Wenfang S., Haiyan X., Jian L. Radiation induced grafting of acrylic acid onto polycarbonate membranes // Desalination. – 1987. – Vol. 62. – P. 107-115.
10. Mashentseva A.A., Russakova A., Korolkov I., Zdorovets M.V. The application of composite ion track membranes with embedded gold nanotubes in the reaction of aminomethylation of acetophenone // Mater. Res. Express 6 (2019) 115022, doi.org/10.1088/2053-1591/ab4547
11. Kamarudin S., Mohammad M., Mohammed N. Radiation Induced Grafting of Acrylic Acid on to Polyaniline Nanofiber // Solid State Phenom. – 2018. – Vol. 280. – P. 294-300.
12. Mashentseva A.A., Shlimas D., Russakova A.A et.al Electron Beam Induced Enhancement of the Catalytic Properties of Ion-Track Membranes Supported Copper Nanotubes in the Reaction of the P-Nitrophenol Reduction / CATALYSTS 2019, 9, 737; doi:10.3390/catal9090737.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 81.93.29

А.Т. Сабитова, О.Е. Бакланова

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ОЦЕНКА РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В статье рассматривается подход сочетания аналитического иерархического метода с комплексным методом нечетких выводов. Этот метод можно применять при оценке рисков информационной безопасности на критически важных объектах информационно-коммуникационной инфраструктуры.

Мақалада аналитикалық иерархиялық әдісті бұлыңғыр тұжырымдардың күрделі әдісімен біріктіру тәсілдері қарастырылған. Бұл әдісті ақпараттық және коммуникациялық инфрақұрылымның маңызды объектілерінде ақпараттық қауіпсіздікке қатерлерді бағалау кезінде қолдануға болады.

The article considers the approach of combining the analytical hierarchical method with the complex method of fuzzy conclusions. This method can be used in assessing information security risks at critical facilities of the information and communication infrastructure.

Ключевые слова: информационная безопасность, система менеджмента информационной безопасности, система управления рисками информационной безопасности, информационная безопасность на критически важных объектах информационно-коммуникационной инфраструктуры, аналитический иерархический метод с комплексной нечеткой моделью оценки.

Анализ рисков информационной безопасности становится все более важным компонентом любого предприятия, на критически важных объектах информационно-коммуникационной инфраструктуры, где возникают новые риски информационной безопасности в промышленных объектах. Традиционный анализ рисков информационной безопасности заключается в количественных и качественных методах анализа, которые имеют ряд преимуществ. Тем не менее, и иерархический процесс также широко используется в оценке безопасности. Будущее в данном направлении исследований за разработкой и применением вычислений, таких как грубые множества, серые множества, нечеткие системы, общие алгоритм, метод опорных векторов, байесовская сеть и гибридная модель. В данном подходе рассматривается сочетание аналитического иерархического метода с комплексным методом нечетких выводов.

Количественный и качественный анализ. Анализ рисков является основой защиты информации, процесса управления рисками и в процессе защиты информации. Анализ риска включает себя такие процессы, как идентификация деятельности, анализ угроз, анализ уязвимостей. Анализ рисков требует выполнения нескольких этапов процесса оценки рисков информационной безопасности. Для этого требуется проведение комплексного и интегрированного анализа выявления рисков, предварительного расчета и оценки. На предприятии методы количественного и качественного анализа являются двумя основными методами, используемыми для анализа риска, которому подвергаются все информационные активы.

Мягкие вычисления и гибридная модель. Мы объединим эти два метода для использования их преимуществ и гибкости с целью достижения наилучших результатов. Обычные методы комплексной оценки включают иерархический анализ, вероятностную оценку риска и метод нечеткой комплексной оценки. Так как анализ аналитического иерархического метода (АИМ) может измениться с качественного индекса на количественный индекс, то, АИМ широко используется при оценке рисков безопасности. Второй метод – гибридная модель – разработан путем объединения двух и/или более существующих моделей.

Процесс оценки риска информационной безопасности. Процесс оценки риска информационной безопасности является важной предпосылкой для достижения эффективной оценки риска. Процесс включает подготовку к оценке риска, идентификацию активов, идентификацию угроз, идентификацию уязвимостей, расчет риска и другие этапы. Этот процесс можно разделить на шесть шагов.

Шаг 1: Определить объект оценки: определить данные информационной системы, аппаратные средства, программное обеспечение активы и т. д., задать функцию, границы, критические активы и чувствительные активы, определить объем оценки.

Шаг 2: Оценка эффективности: разработать план оценки в соответствии с требованиями, разделить процесс оценки, выбрать соответствующие методы и инструменты оценки.

Шаг 3: Идентификация риска: определить критические активы и общие активы в рамках оценки; выявить угрозы в операционной среде, собственные уязвимости активов и существующие меры безопасности.

Шаг 4: Анализ рисков: объединить активы, анализ возможностей и последствий угроз, используемых уязвимостью, и рассчитать результаты оценки; проанализировать эффективность в зависимости от существующих мер безопасности.

Шаг 5: Оценка риска: оценить результаты; сформировать отчет об оценке риска с мнением эксперта.

Шаг 6: Контроль риска: в соответствии с инструкциями необходимо принять эффективные меры по снижению, принятию или передаче риска.

Количественный анализ рисков безопасности. Этот подход использует два основных элемента: вероятность возникновения события и потери, которые может понести предприятие. Количественный анализ рисков безопасности использует одно число, полученное из этих элементов. Некоторые методы количественного анализа рисков безопасности разработаны ([1], [2]) на основе стоимости, ожидаемого годового убытка (ALE), защитного значения и возврата инвестиций.

Расчет величины риска:

$$R = p \times W \text{ and } p = F \times V, \quad (1)$$

где: R – значение риска; P – прогнозируемое количество инцидентов, вызвавших потерю стоимости активов за определенный период; W – стоимость потери стоимости активов при возникновении единичного инцидента; F – частота возникновения угрозы; V – мера вероятности использования указанной восприимчивости данной угрозой.

Ожидаемая годовая потеря (ALE). Ежегодный ожидаемый убыток (ALE) является результатом вероятности возникновения событий, которые негативно влияют на информационную безопасность и стоимость вызванных ими потерь. Можно представить в следующем виде:

$$ALE = \text{Вероятность} \times \text{Стоимость потерь} \quad (2)$$

$$ALE = \sum_{i=1}^n I(O_i)F_i \quad (3)$$

где $\{O_1 O_2 \dots, O_n\}$ – набор негативных последствий события; $I(O_i)$ – величина выраженного убытка в результате события; F_i – частота события i .

Расчет защитного значения. Защитное значение = (ALE до – ALE после) – Годовая стоимость контрмер (4).

Возврат инвестиций (ROI). Расчет оценки выявленных механизмов бизнеса с использованием предыдущих вычислений – ROI:

$$ROI = \frac{B}{C}, \quad (5)$$

где: B – Преимущества; $B = S + Pr$ (Прибыль) от новых предприятий; C – Стоимость защиты; S – экономия – снижение ALE, $S = ALE$ (базовый уровень) – ALE (с новой защитой).

Аналитическая иерархия.

Шаг 1: структурировать иерархию.

Этот шаг АИМ разбивает сложную многокритериальную проблему принятия решений на иерархию взаимосвязанных критериев принятия решений, альтернативных решений. В табл. 1 обозначены индексы оценки системы менеджмента информационной безопасности.

Таблица 1

Система оценки индекса риска информационной безопасности

Альтернативные решения	Индекс первого критерия	Индекс второго критерия
Оценка рисков информационной безопасности	Активы (c_1)	Конфиденциальность (c_{11})
		Целостность (c_{12})
		Доступность (c_{13})
	Угрозы (c_2)	Факторы окружающей среды (c_{21})
		Человеческий фактор (c_{22})
	Уязвимость (c_3)	Техническая уязвимость c_{31}
		Уязвимость управления (c_{32})
	Меры безопасности (c_4)	Предотвратительные меры безопасности (c_{41})
		Защитные меры безопасности (c_{42})

Шаг 2: Парное сравнение

Процедура расстановки приоритетов начинается с определения относительной важности критериев каждого уровня.

Матрица суждения будет выглядеть:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & 1 & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где A – сравниваемая попарно матрица; w_1 – вес элемента 1; w_2 – вес элемента 2; w_n – вес элемента n .

Для определения относительных предпочтений для двух элементов иерархии в матрице A множественные парные сравнения присвоим по стандартизированной шкале сравнения из девяти уровней.

Матрица суждений будет выглядеть следующим образом:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1.5 & 2 \\ 0.333 & 1 & 0.5 & 0.667 \\ 0.667 & 2 & 1 & 1.333 \\ 0.5 & 1.5 & 0.75 & 1 \end{bmatrix} \quad A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1.5 & 0.75 \\ 0.667 & 1 & 0.5 \\ 1.333 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0.667 \\ 1.5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1.5 \\ 0.667 & 1 \end{bmatrix} \quad A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Шаг 3: оценить относительные веса.

Относительные веса задаются собственным вектором W , соответствующим наибольшему собственному значению λ_{max} как

$$A \times W = \lambda_{max} \times W, \quad (7)$$

где λ_{max} является наибольшим собственным значением матрицы A .

(1) Нормализуем каждый вектор строки A .

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (i = 1, 2, \dots, n); \quad (8)$$

(2) Суммируется каждый столбец вектора \bar{A}

$$\bar{w}_{ij} = \sum_j^n \bar{a}_{kj} \quad (i = 1, 2, \dots, n); \quad (9)$$

(3) Нормализуем каждый вектор $\bar{W} = (\bar{w}_1, \bar{w}_2 \dots \bar{w}_n)$

$$w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (10)$$

Таблица 2

Относительные веса второго критерия и рейтинга

Первый уровень	Первый уровень Относительные веса	Второй уровень	Второй уровень Относительные веса	Вес значения риска	Ранг
1	2	3	4	5	6
с ₁	0,4	с ₁₁	0,333	0,1332	3
		с ₁₂	0,222	0,0888	7
		с ₁₃	0,445	0,178	1

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6
c_2	0,133	c_{21}	0,4	0,0532	9
		c_{22}	0,6	0,0798	8
c_3	0,267	c_{31}	0,6	0,1602	2
		c_{32}	0,4	0,1068	4
c_4	0,2	c_{41}	0,5	0,1	5
		c_{42}	0,5	0,1	6

Относительные веса первого критерия: $W = (0.4, 0.133, 0.267, 0.2)$. Относительные веса второго критерия: $W_1 = (0.333, 0.222, 0.455)$, $W_2 = (0.4, 0.6)$, $W_3 = (0.6, 0.4)$, $W_4 = (0.5, 0.5)$.

Шаг 4: проверить согласованность.

Согласованность определяется отношением между записями A: $a_{ij} * a_{jk} = a_{ik}$, the. Индекс согласованности (CI) рассчитывается как

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (11)$$

где

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}. \quad (12)$$

Случайный индекс (RI) является индексом согласованности матрицы парного сравнения, которая генерируется случайным образом.

Окончательный коэффициент согласованности рассчитывается путем сравнения CI со случайным индексом (RI). Как правило, если CR составляет менее 0,1, суждения являются последовательными. Формулировка CR:

$$CR = \frac{CI}{RI}.$$

Саати [1] показал, что если суждение полностью последовательно, то

$$a_{ij} * a_{jk} = a_{ik},$$

$$\lambda_{max} = n \text{ and } CI = 0.$$

Метод нечеткой комплексной оценки. Нечеткую модель оценки можно использовать при оценке рисков информационной безопасности. Метод является качественным, и его основные принципы заключаются в следующем:

(1) Определяем набор элементов и коэффициент уклона.

В соответствии с характером характеристик индекса первого уровня в системе оценки, факторы, установленные при оценке, определяются:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}.$$

где u_j представляет j-й элемент оценки. Например, пять оценок можно определить:

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\} = \{high, higher, medium, lower, low\}.$$

(2) Устанавливаем однофакторную матрицу R оценки от U до V.

Допустим, что 20 экспертов выбраны для составления экспертной оценки срока риска информационной безопасности. Эксперты самостоятельно определяют уровень факторов оценки риска информационной безопасности (табл. 3).

Таблица 3

Статистика экспертной оценки

Второй уровень	Высокий	Выше	Средний	Ниже	Низкий
c_{11}	0	3	5	10	2
c_{12}	1	3	3	6	7
c_{13}	2	3	8	3	4
c_{21}	0	1	2	8	9
c_{22}	1	1	2	9	7
c_{31}	0	5	10	4	1
c_{32}	1	3	5	8	3
c_{41}	0	1	4	12	3
c_{42}	0	2	4	10	4

Для каждого u_j, r_{ij} представляет степень принадлежности u_j к v_i ($i = 1, 2, 3, 4$).

$r_{ij} = \frac{n}{20}$, n представляет число u_j . R обозначается нечеткой матрицей элемента u_j на уровне v_i :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & r_{m4} & r_{m5} \end{bmatrix}$$

Однофакторные матрицы оценки риска:

$$U = \{c_1, c_2, c_3, c_4\}, U_1 = \{c_{11}, c_{12}, c_{13}\}, U_2 = \{c_{21}, c_{22}\}, U_3 = \{c_{31}, c_{32}\}, U_4 = \{c_{41}, c_{42}\}$$

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0.15 & 0.25 & 0.50 & 0.10 \\ 0.05 & 0.15 & 0.15 & 0.30 & 0.35 \\ 0.10 & 0.15 & 0.40 & 0.15 & 0.20 \end{bmatrix} \quad R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0.05 & 0.10 & 0.40 & 0.45 \\ 0.05 & 0.05 & 0.10 & 0.45 & 0.35 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0.25 & 0.50 & 0.20 & 0.05 \\ 0.05 & 0.15 & 0.25 & 0.40 & 0.15 \end{bmatrix} \quad R_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0.05 & 0.20 & 0.60 & 0.15 \\ 0 & 0.10 & 0.20 & 0.50 & 0.20 \end{bmatrix}$$

По результатам этих оценок нормализованные условия и сумма значений вектора-строки равны 1.

(3) Получаем исчерпывающие результаты оценки.

Комплексные результаты риска информационной безопасности при однофакторной оценке:

$$B_i = W_i \cdot R_i = \{b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}, b_{i4}, b_{i5}\} \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

$$B_1 = \{0.0556, 0.15, 0.29455, 0.29985, 0.2\}$$

$$B_2 = \{0.03, 0.05, 0.1, 0.43, 0.39\}$$

$$B_3 = \{0.03, 0.19, 0.35, 0.32, 0.11\}$$

$$B_4 = \{0.0, 0.075, 0.2, 0.55, 0.175\}$$

Многоуровневая нечеткая комплексная оценка.

Согласно синтетическому результату оценки B_i , кластер для U предполагается как R .

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Оценивая индексы U , мы производим синтетическую оценку, ее синтетические записи результатов оценки:

$$B = W \cdot R = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5\} \quad (14)$$

(5) Получаем заключительную оценку.

Согласно синтетическим результатам оценки B , согласно принципу максимального подчинения, уровень оценки «Нижний», соответствующий максимальному подчинению в наборе B , должен быть заключительной оценкой риска информационной безопасности.

Список литературы

1. Sadok M, Spagnoletti P., A business aware information security risk and analysis method // Information Technology and Innovation trends in Organization. – 2011. – Pp. 453-460.
2. Ming-Chang Lee, Information Security Risk Analysis Methods and Research Trends: AHP and Fuzzy Comprehensive Method // International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT). – 2014. - Vol 6. – No1.
3. Зегжда Д.П., Ивашко А.М. Основы безопасности информационных систем. – М: Горячая линия – Телеком, 2000. – 121 с.
4. Лукацкий А.В. Обнаружение атак. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 624 с.
5. Столингс, Вильям. Основы защиты сетей: Приложения и стандарты / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 432 с.
6. Щербakov А.Ю. Введение в теорию и практику компьютерной безопасности. – М.: Издатель Молгачёва С., 2001. – 352 с.
7. Лукацкий А.В. Обнаружение атак. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 608 с.
8. Норткатт, Стивен, Обнаружение вторжений в сеть. Настольная книга специалиста по системному анализу. – М.: Издательство «ЛОРИ», 2001. – 384 с.
9. Норткатт, Стивен. Анализ типовых нарушений безопасности в сетях / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 464 с.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 76.09.41

А.Н. Сағидұғмар¹, А. Тұрлыбекұлы², А.Д. Погребняк³

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

²Назарбаев Университет, г. Нур-Султан, Казахстан

³Сумский государственный университет, г. Сумы, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ БИОКОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТ-АЛЬГИНАТ НАТРИЯ ЛЕГИРОВАННОГО ИОНАМИ СЕРЕБРА

В статье представлены результаты исследований влияния ионов серебра на антибактериальные свойства и взаимодействия с матрицей нанокomпозитов гидроксиапатит-Ag (HA-Ag) и гидроксиапатит-Альгинат-Ag (HA-Alg-Ag), синтезированных различными химическими методами.

Мақалада күміс иондарының әртүрлі химиялық әдістермен синтезделген гидроксиапатит-Ag (HA-Ag) және гидроксиапатит-алгинат-Ag (HA-Alg-Ag) нанокomпозиттерінің матрицасымен әрекеттесуін және бактерияға қарсы қасиеттерге әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген.

The paper presents the results of studies of influence of silver ions on antibacterial properties and interactions with matrix of Hydroxyapatite-Ag (HA-Ag) and Hydroxyapatite-Alginate-Ag (HA-Alg-Ag) nanocomposites synthesized by different chemical methods.

Ключевые слова: ионы серебра; гидроксиапатит в альгинатной матрице; гидроксиапатит, легированный серебром.

Одним из основных проблем, связанных со здоровьем человека являются дефекты кости. Использование имплантатов с антибактериальными свойствами исключает использование антибиотиков, применение которых иногда не приводит к желаемому результату в связи микробной резистентностью [1], [2]. Многие металлы, такие как серебро, цинк, медь и другие, имеют ярко выраженные антимикробные свойства [3-5].

На сегодняшний день серебро используется во многих отраслях медицины как антимикробное средство [6, 7]. В работах [8-13] указано, что антибактериальные свойства напрямую зависят от размера частиц, их концентрации и распределения. В работах [14, 15] использовались нано/микрочастицы серебра диаметром порядка 50-500 нм. Несмотря на то, что синтезированные материалы имеют ярко выраженную антимикробную активность, дальнейший метаболизм частиц подобного размера является весьма затруднительным. Поэтому биомиметический подход, когда допирующие компоненты добавляются в следовых количествах, в создании композитных материалов для остеопластики является первостепенным.

Помимо вышеописанных параметров биосовместимости, таких как гидрофильность поверхности, пористость, биоинертность, существуют еще и механические параметры, влияющие на остеокондуктивные свойства материала. В этом аспекте интерес вызывают модуль упругости материала, отличие его свойств от кортикальной и трабекулярной кости. В работе [16, 17] показано, что материалы, имеющие сопоставимые с трабекулярной костью механические свойства (5,6 ГПа на микроуровне и 20 ГПа на макроуровне), имеют наилучшие остеокондуктивные свойства.

Альгинат натрия представляет собой линейный неразветвленный полисахарид, получаемый из бурых водорослей. Химическая структура альгината натрия представлена остатками β -D-маннуроновой кислоты и α -L-гулууроновой кислоты, соединенными 1,4'-связью [7, 8]. Альгинат также является биосовместимым и не вызывает аллергических реакций [7]. Биокompозитные материалы на его основе широко используются в современной медицине и ортопедии для транспортировки лекарственных средств [9].

Популярным металлом, используемым в качестве противомикробного агента, является серебро [10]. Например, добавки и покрытия с Ag применяются в различных пластмассовых и текстильных изделиях [11]. Серебро активно используется в области биомедицины [12]. Частицы Ag включаются в раневые повязки, биоадгезивы, покрытия биомедицинских материалов [13].

Серебро обладает широким спектром антимикробной активности, т.е. эффективно против грамположительных и грамотрицательных бактерий, оно обладает и фунгицидным действием [14]. Было обнаружено, что наночастицы Ag обладают высокой антимикробной активностью, сравнимой с ионной формой [15].

Основным механизмом антибактериального действия Ag являются структурные повреждения бактериальной наружной мембраны [16]. Это приводит к возникновению больших отверстий в ней и заканчивается разрушением клетки [17, 18]. Также установлено, что ионы Ag взаимодействуют с дисульфидными или сульфгидрильными группами ферментов, что нарушает метаболические процессы, за которыми следует гибель клеток [13]. Важно и то обстоятельство, что Ag менее токсичен, нежели многие другие дезинфицирующие средства [19]. В связи с этим Ag может рассматриваться как новая альтернатива большинству антибиотиков [20].

В данной работе исследуется влияние ионов серебра на структуру и противомикробные свойства двух композитных материалов, отличающихся методом синтеза и формой, а именно: а) гранулированного материала, взаимосвязанного ионами серебра (Ag^+), в котором ГА инкорпорирован в структуру альгинатной полимерной матрицы; б) порошкового ГА, допированного ионами серебра.

Синтез биокompозитного материала на основе гидроксиапатита и альгината натрия, допированного ионами серебра

Для синтеза были использованы следующие компоненты: тетрагидрат нитрата кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, гидрофосфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, нитрат серебра AgNO_3 , 25 % водный раствор аммиака NH_4OH , альгинат натрия (низкая вязкость, E407). Все компоненты были аналитически чистыми и изготовлены Shanghai Chemical Company Ltd, Китай.

Легированный ионами Ag порошок НА. Гидроксипатит синтезировали в присутствии ионов серебра с получением соединения приблизительной формулы $\text{Ca}_{10-y}\text{Ag}_y(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2-y}$, где y равно 0,02 и 0,2. Молярная концентрация ионов серебра определяется соотношением $[\text{Ag} / (\text{Ag} + \text{Ca})] \cdot 100 = X$, где $X = 0,2 \%$ и 2% . Постоянное молярное отношение $(\text{Ag} + \text{Ca}) / \text{P} = 1,67$. Гидроксипатит был синтезирован под воздействием микроволнового излучения, как мы ранее описали [101]. Вкратце, для синтеза порошков ГА, легированных ионами Ag, 0,2 и 2,0 мол.%, 50 мл $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,1666 М и 0,1636 М) и соответствующие количества AgNO_3 (для получения концентраций 0,00034 М и 0,0034 М соответственно). Смешивали при встряхивании 150 об/мин при 500 °С до полного растворения компонентов. Затем к каждой из вышеуказанных смесей по каплям добавляли 50 мл 0,1 М гидрофосфата аммония. РН полученных растворов доводили до 11 добавлением раствора аммиака (~ 10 мл). 100 мл каждой суспензии переносили в потребительскую микроволновую печь Samsung M1712NR для облучения мощностью 600 Вт МВт в течение 5 минут (10 раз по 30 с). После промывки твердые фракции отделяют центрифугированием и сушат при 37 °С.

Формирование гранул Алг-ГА-Ag. Основой композиционного материала в виде гранул является ГА, синтезируемый под действием МВ. Вкратце, 50 мл $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (0,1 М) добавляли по каплям к 50 мл $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,167 М). Раствор аммиака (~ 10 мл) добавляли к полученной смеси для получения значения рН 11. Затем смесь подвергали микроволновой обработке при 600 Вт в течение 5 минут, после чего ее промывали и центрифугировали. В результате был получен гидрогель НА с влажностью 90 %. Для получения гранул ГА-Алг-Ag синтезированный гидрогель НА диспергировали при обработке ультразвуком в 2 % -ном растворе альгината натрия в соотношении 1:1 (вес / вес) с последующим добавлением в раствор нитрата серебра различной концентрации, а именно 0,25 М. и 2,5 М. Таким образом, шарики образовались путем ионотропного сшивания альгинатных макромолекул с ионами серебра.

Таким образом, рассмотрены две различные технологии введения ионов серебра в структуру биоматериала на основе гидроксипатитита. Согласно первой технологии 0,2 и 2,0 (моль %) ионов серебра относительно молярной концентрации кальция были введены в маточный раствор при синтезе гидроксипатита. В этом случае по данным анализа образовался ГА, допированный серебром, в котором ионы Ag^+ входят в структуру ГА.

Рентгеноструктурный анализ показал (рис. 1), что основной компонент биоконкомпозитов ГА-хAg – нанокристаллы гидроксипатита имеют гексагональную решетку со следующими параметрами ячейки: $a = 9,4232 \text{ \AA}$, $b = 9,4232 \text{ \AA}$, $c = 6,8833 \text{ \AA}$, $\alpha = 90,00^\circ$, $\beta = 90,00^\circ$, $\gamma = 120,00^\circ$. Легирование ионами Ag в ГА обеспечивает образование тригональной фазы Ag_3PO_4 . Параметры ячейки: $a = 5,108 \text{ \AA}$, $b = 9,745 \text{ \AA}$, $c = 15,419 \text{ \AA}$, $\alpha = 79,541^\circ$, $\beta = 80,494^\circ$, $\gamma = 74,763^\circ$. Массовая доля Ag_3PO_4 уменьшается с 15 до 10 % с увеличением концентрации ионов Ag. Уменьшение доли фазовой массы в составе может указывать на то, что замещение атомов Са Ag происходит на границах нанокристаллов НА. Практически такие же процессы наблюдаются для биоконкомпозитов ГА-Алг-хAg.

В элементном составе ГА, допированного серебром, не было обнаружено ионов серебра в образце ГА-0,2Ag, очевидно из-за их малого содержания, которое находилось вне предела чувствительности прибора. Образец ГА-2,0Ag демонстрирует присутствие 0,05 % ионов серебра, при этом содержание ионов кальция уменьшается на 1,34 % по сравнению с ГА-0,2Ag образцом. Данный факт подтверждает замещение ионов кальция в структуре ГА ионами серебра. Кроме того, уменьшение соотношения Са/Р в образце, синтезированном при более высоком содержании ионов серебра, также свидетельствует о влиянии Ag ионов на формирование ГА.

Ионы серебра участвовали в ионотропном сшивании макромолекул альгината, образуя матрицу с инкорпорированными частичками ГА. Ионы серебра в этом случае с наибольшей вероятностью были в основном сосредоточены на (на) поверхности гранул. Дисперсия ГА в растворе альгината под воздействием ультразвука с последующим сшиванием ионами серебра вносит значительные изменения в микроструктуру ГА-Алг-Ag композита. Контур частиц выраженный, частицы имеют осколочный характер, что является характерным для подобных биоконкомпозитов с натрий альгинатной матрицей [21-24].

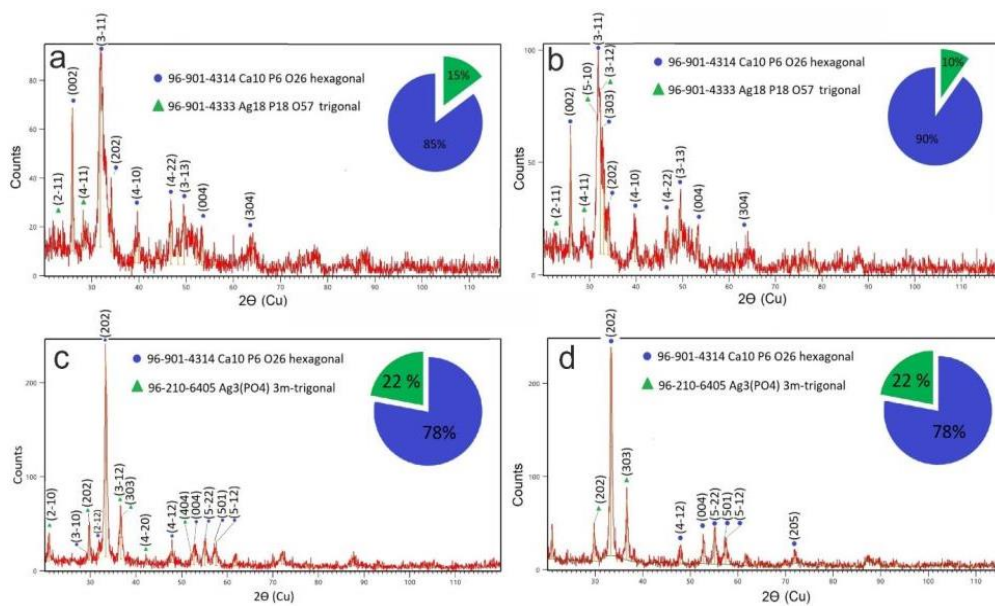


Рисунок 1 – Рентгенограммы образцов компонентов композиционных материалов:

a – ГА-0,27Ag; b – ГА-27Ag; c – ГА-Алг-0,125Ag; d – ГА-Алг-0,25Ag

На рис. 2 представлено изображение участка композита ГА-Алг-Ag. Из спектров ЭДС можно сделать вывод, что по сравнению с образцами гидроксиапатита в виде порошка и гидрогеля, в состав материала входят такие элементы, как: хлор, углерод, кремний, магний, алюминий. Все элементы, входящие в состав, являются условно биосовместимыми [25]. Спектральные линии различимы.

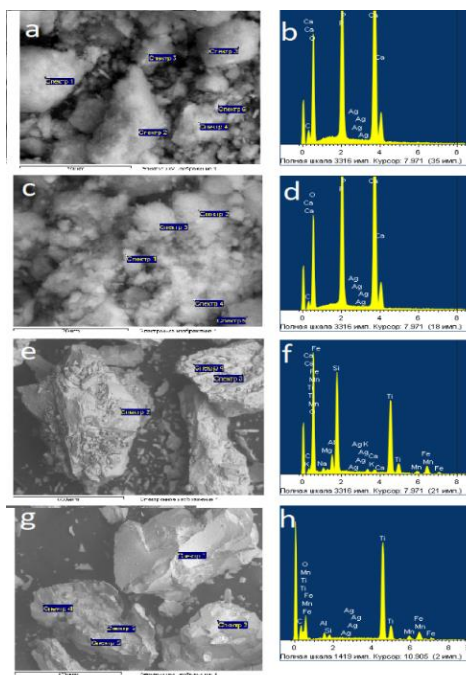


Рисунок 2 – РЭМ изображение поверхности образцов участка ЭДС анализа и его спектр:

a, b – ГА-0,2 Ag; c, d – ГА-2,0Ag; e, f – ГА-Алг-0,125Ag; g, h – ГА-Алг-0,25Ag

Выводы. Ионы серебра участвовали в ионотропном сшивании макромолекул альгината, образуя матрицу с инкорпорированными частичками ГА. Ионы серебра в этом случае с наибольшей вероятностью были в основном сосредоточены на (на) поверхности гранул. Дисперсия ГА в растворе альгината под воздействием ультразвука с последующим сшиванием ионами серебра вносит значительные изменения в микроструктуру ГА-Алг-Ag композита.

Уменьшение соотношения Са/Р для образцов ГА-Алг-хAg, объясняется образованием кальций дефицитного ГА в результате присутствия карбонатной составляющей.

Примечательно, что при повышении концентрации ионов серебра с 0,2 М до 2,0 М (образцы ГА-0,2Ag и ГА-2,0Ag, соответственно), а также с 0,125 М до 0,25 М наблюдается формирование фазы Ag_3PO_4 . Данный процесс физически возможен благодаря меньшему радиусу атома серебра по отношению к атому кальция.

Рентгеноструктурный анализ показал, что основной компонент биокompозитов ГА-хAg – нанокристаллы гидроксиапатита имеют гексагональную решетку. Легирование ионами Ag в ГА обеспечивает образование тригональной фазы Ag_3PO_4 . Массовая доля Ag_3PO_4 уменьшается с 15 % до 10 % с увеличением концентрации ионов Ag. Уменьшение доли фазовой массы в составе может указывать на то, что замещение атомов Са Ag происходит на границах нанокристаллов НА. Практически такие же процессы наблюдаются для биокompозитов ГА-Алг-хAg.

Проведенные исследования создают предпосылки для создания новых материалов, которые могут быть использованы для различных биомедицинских применений.

Список литературы

1. R. Kumar Saini, L. Prasad Bagri, A. K. Bajpai, Nano-silver hydroxyapatite based antibacterial 3D scaffolds of gelatin/alginate/poly (vinyl alcohol) for bone tissue engineering applications // *Colloids Surfaces B Biointerfaces*. – Vol. 177. – № December 2018. – P. 211-218, 2019.
2. A. Turlybekuly *et al.*, Synthesis, characterization, in vitro biocompatibility and antibacterial properties study of nanocomposite materials based on hydroxyapatite-biphasic ZnO micro- and nanoparticles embedded in Alginate matrix // *Mater. Sci. Eng. C*. – Vol. 104. – № July. – P. 109965, 2019.
3. Dorozhkin S.V. Calcium orthophosphate deposits: Preparation, properties and biomedical applications // *Mater. Sci. Eng. C Elsevier B.V.* – 2015. – Vol. 55. – № October. – P. 272-326.
4. Jain A., Bhargava R., Poddar P. Probing interaction of Gram-positive and Gram-negative bacterial cells with ZnO nanorods // *Mater. Sci. Eng. C*. – 2013. – Vol. 33. – № 3. – P. 1247–1253.
5. Samani S. *et al.* In vitro antibacterial evaluation of sol-gel-derived Zn-, Ag-, and (Zn + Ag)-doped hydroxyapatite coatings against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* // *J. Biomed. Mater. Res. Part A*. – 2013. – Vol. 101A. – № 1. – P. 222-230.
6. Porrelli D. *et al.* Antibacterial-nanocomposite bone filler based on silver nanoparticles and polysaccharides // *J. Tissue Eng. Regen. Med.* - 2018. - Vol. 12, № 2. - P. e747–e759.
7. Kumar Saini R., Prasad Bagri L., Bajpai A.K. Nano-silver hydroxyapatite based antibacterial 3D scaffolds of gelatin/alginate/poly (vinyl alcohol) for bone tissue engineering applications // *Colloids Surfaces B Biointerfaces Elsevier*, - 2019. - Vol. 177, № December 2018. - P. 211–218.
8. Saxena V., Hasan A., Pandey L.M. Effect of Zn/ZnO integration with hydroxyapatite: a review // *Mater. Technol. Taylor & Francis*, - 2018. - Vol. 33, № 2. - P. 79–92.
9. Sukhodub, L.F. Yanovska, G.O. Sukhodub, L.B. Kuznetsov, V.M. Stanislavov O.S. Nanocomposite Apatite-biopolymer Materials and Coatings for Biomedical Applications // *J. NANO- Electron. Phys.* - 2014. - Vol. 6, № 2. - P. 1–5.
10. Morgan H. *et al.* Preparation and characterisation of monoclinic hydroxyapatite and its precipitated carbonate apatite intermediate // *Biomaterials*. - 2000. - Vol. 21, № 6. - P. 617–627.
11. Espanol M. *et al.* Investigation of the hydroxyapatite obtained as hydrolysis product of α -tricalcium phosphate by transmission electron microscopy // *CrystEngComm*. – 2010. – Vol. 12, № 10. – P. 3318.
12. Rey C. *et al.* Nanocrystalline apatites in biological systems: characterisation, structure and properties // *Materwiss. Werksttech.* - 2007. - Vol. 38, № 12. - P. 996–1002.
13. Drouet C. *et al.* Surface enrichment of biomimetic apatites with biologically-active ions Mg^{2+} and Sr^{2+} : A preamble to the activation of bone repair materials // *Mater. Sci. Eng. C*. - 2008. - Vol. 28, № 8. - P. 1544–1550.

14. Wopenka B., Pasteris J.D. A mineralogical perspective on the apatite in bone // Mater. Sci. Eng. C. – 2005. – Vol. 25, № 2. – P. 131–143.
15. Frost H.M. Wolff's Law and bone's structural adaptations to mechanical usage: an overview for clinicians. // Angle Orthodontist. – 1994.
16. Huijskes R. et al. Adaptive bone-remodeling theory applied to prosthetic-design analysis // J. Biomech. – 1987.
17. Lakstein D. et al. Enhanced osseointegration of grit-blasted, NaOH-treated and electrochemically hydroxyapatite-coated Ti-6Al-4V implants in rabbits // Acta Biomater. – 2009. – Vol. 5, № 6. – P. 2258-2269.
18. Rho J.-Y., Kuhn-Spearing L., Zioupos P. Mechanical properties and the hierarchical structure of bone // Med. Eng. Phys. – 1998. – Vol. 20, № 2. – P. 92–102.
19. Hassenkam T. et al. High-resolution AFM imaging of intact and fractured trabecular bone // Bone. – 2004.
20. Ke P. et al. From macro to micro: Structural biomimetic materials by
21. Turlybekuly A. et al. Calcium apatite and sodium alginate based composite material with ZnO microparticles doping // Bull. Univ. Karaganda-Physics. – 2018. – Vol. 4, № 92. – P. 51–56.
22. Turlybekuly A. et al. Synthesis, characterization, in vitro biocompatibility and antibacterial properties study of nanocomposite materials based on hydroxyapatite-biphasic ZnO micro- and nanoparticles embedded in Alginate matrix // Mater. Sci. Eng. C. – 2019. – Vol. 104. – P. 109965.
23. Pogrebnjak A. et al. Composite material with nanoscale architecture based on bioapatite, sodium alginate and ZnO microparticles // Ceram. Int. – 2019. – Vol. 45, № 6. – P. 7504-7514.
24. Pogrebnjak A.D. et al. ZnO Doped Nanosized Composite Material Based on Hydroxyapatite and Sodium Alginate Matrix // Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings. – 2019. – P. 361–368.
25. Veerananarayanan S. et al. FITC labeled silica nanoparticles as efficient cell tags: Uptake and photostability study in endothelial cells // J. Fluoresc. – 2012.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 67.09.31

З.Н. Салимбаева, Д.К. Галкина

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНЫХ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ НА ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ

В статье описывается получение углеродных коллоидных частиц, исследование влияния наночастиц коллоидных растворов, полученных из шунгитосодержащих пород Восточного Казахстана на физико-механические свойства цементных композиций.

Мақалада көміртекті коллоидты бөлшектерді алу, Шығыс Қазақстан құрамында шунгит бар жыныстарынан алынған коллоидты ерітінділер нанобөлшектерінің цемент жүйелерінің физикалық-механикалық қасиеттеріне әсерін зерттеу сипатталған.

The article describes the production of carbon colloidal particles, studies the influence of nanoparticles of colloidal solutions obtained from shungite-containing rocks of East Kazakhstan on the physical and mechanical properties of cement systems.

Ключевые слова: наночастицы, углеродные коллоидные частицы (УКЧ), цементный камень, цементное тесто, мелкозернистый бетон, физико-механические свойства.

Современное строительство предъявляет высокие требования к основным конструкционным материалам – бетону и железобетону. Это требования увеличения жизнеспособности бетонных смесей, получения экономически выгодных бетонов с высокой прочностью, максимальной долговечностью и повышенной морозостойкостью.

Современные методы исследований и разработка передовых технологий, в том числе и нанотехнологий, позволяют направленно воздействовать на структуру и свойства цементных растворов и бетонов и получать материалы с высокими технологическими и физико-механическими свойствами.

Целью данного исследования было определение возможности получения углеродных наночастиц из шунгитового сырья Восточного Казахстана и исследование их влияния на физико-механические свойства цементных композиций.

На первом этапе готовились углеродные коллоидные растворы в виде низкоконцентрированной водной суспензии: 25 грамм шунгитового порошка и 500 мл дистиллированной воды подвергали механическому диспергированию на мельнице Ковшика. В результате получали раствор темно-серого цвета. Осаждение грубодисперсных частиц в растворе происходило со скоростью 1 мл в 1 минуту, полное завершение осаждения происходило в течение часа. После раствор приобретал светло-серую окраску с видимым содержанием взвешенной студенистой массы, что свидетельствовало о получении коллоидного раствора. Состояние раствора не менялось в течение месяца.

Наличие коллоидных частиц также проверялось инфракрасным направленным лучом света на раствор (Эффект Тиндаля) (рис. 1).

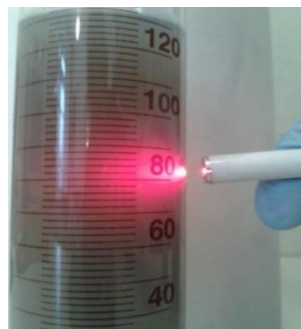


Рисунок 1 – Эффект Тиндаля

Согласно [1] особенности коллоидных дисперсных систем, связанные с поверхностными явлениями, обусловлены избыточной энергией, которой обладают атомы и молекулы в поверхностных слоях, по сравнению с атомами и молекулами в глубине тела (в объеме), а также малым размером. В коллоидных системах достигается высшая степень раздробленности вещества, при которой сохраняются понятия «фаза» и «гетерогенность». Уменьшение размеров частиц еще на порядок переводит системы в гомогенные. Нижней границей размеров частиц, к которым еще применимо понятие «фаза», является 1 нм.

Вторым этапом было исследовано влияние УКЧ на снижение количества воды затворения цементного теста. Для этого использовалась вода с разным содержанием полученного коллоидного раствора. Основываясь на исследованиях российских ученых [2], содержание коллоидного раствора определили в пределах 0,005 % и 0,023 %. Это соответствует концентрации наночастиц в гидрозолях – 0,015 г/л и 0,076 г/л.

Нормальная густота цементного теста определялась по методике [3] на приборе Вика с пестиком. Результаты исследования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние количества углеродных коллоидных частиц на водопотребность цементного вяжущего

Масса цемента	Количество воды затворения, %	Кол-во УКЧ, %	Показание прибора Вика с пестиком от дна, см
300	25,5	0	6
300	25,5	0,005	0
300	22,5	0,005	6
300	25,5	0,023	0
300	23,5	0,023	5

Из анализа данных табл. 1 можно сделать вывод о том, что цементное тесто, имеющее концентрацию углеродных коллоидных частиц (УКЧ) 0,005 %, имеет более низкую водопотребность, чем цементное тесто без добавления УКЧ и с концентрацией 0,023 %. В ходе исследования также было установлено, что введение в воду затворения УКЧ введет к увеличению жизнеспособности цементного теста в сравнении с цементным тестом, затворенным дистиллированной водой.

Следующим этапом было исследовано влияние УКЧ на действие пластифицирующей добавки в цементном тесте. Для этого использовалась химическая добавка – пластификатор С-3 (% от массы цемента) и дистиллированная вода. Испытания проводили на приборе Вика с пестиком и приборе Суттарда. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние УКЧ на действие пластифицирующей добавки С-3 в цементном тесте

Масса цемента	Пластификатор С-3, % (Ц)	Концентрация УКЧ в воде затворения, %	Показание прибора Суттарда, см
300	0,8	0,068	0
300	0,8	0,047	0
300	0,8	0,023	16
300	0,8	0,005	23

Из анализа данных табл. 2 можно сделать вывод о том, что введение УКЧ в воду затворения с концентрацией 0,005 % усиливает действие пластифицирующих свойств С-3.

Далее были изготовлены образцы для определения прочности цементного камня. Результаты испытаний образцов в возрасте 28 суток нормального твердения приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний образцов цементного камня

№	Составы образцов	Прочность при сжатии, МПа
1	контрольный образец	62,8
2	цемент, С-3 (0,8 % от массы цемента), вода	72,2
3	цемент, С-3 (0,2 % от массы цемента), вода, углеродный коллоидный раствор с концентрацией коллоидных частиц 0,005 %	92,1

Результаты испытаний, приведенные в табл. 3, показывают, что максимальное значение прочности получено при введении добавки С-3 в количестве 0,2 % и шунгитовой воды с концентрацией коллоидных частиц 0,005 %.

На следующем этапе определяли влияние УКЧ на свойства мелкозернистого цементного бетона. Прессование образцов-цилиндров Ø=50 мм, h=50 мм из мелкозернистых цементных бетонов осуществлялось на гидравлическом прессе при давлении 40 МПа. Результаты испытаний по прочности прессованного цементного камня в возрасте 28 суток нормального твердения показали, что оптимальное содержание УКЧ составляет 0,005 % и 0,023 % от массы цемента (рис. 2).

Прочность при этих концентрациях возрастает в 1,5 раза и 1,2 раз соответственно по сравнению с контрольным составом.

По результатам определения физико-механических свойств цементных систем с УКЧ установлено, что максимальные показатели основных свойств получаем в составах цементных систем с содержанием УКЧ 0,0047 % и пластификатора С-3 0,2 % от массы цемента.

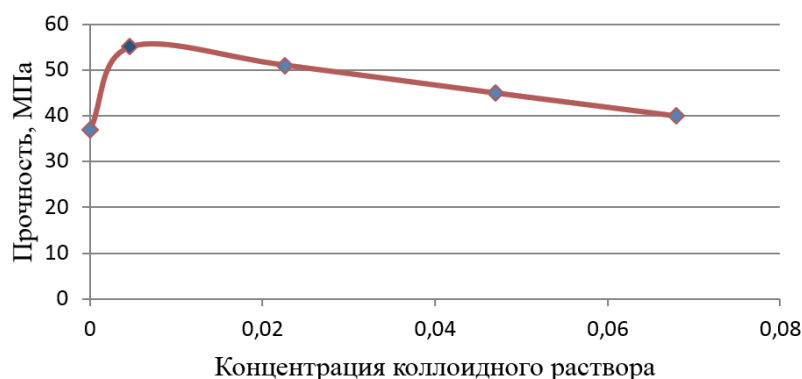


Рисунок 2 – График зависимости прочности мелкозернистого цементного бетона от концентрации углеродного коллоидного раствора

Положительное влияние УКЧ на физико-механические свойства цементных композиций можно объяснить тем, что в области коллоидной степени дисперсности, то есть в области размеров от 1 нм до 0,1 мкм, увеличивается доля частиц, обладающих повышенным запасом энергии и соответственно повышенной реакционной способностью. Увеличение жизнеспособности и подвижности смесей, изготовленных с добавлением УКЧ, объясняется замедлением скорости образования $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в жидкой фазе. Интенсивная протонизации зерен цемента ведет к переходу избыточного количества ионов Ca^{2+} в гидратный раствор, гидроксильные группы ионов OH^- , адсорбированные на поверхности углеродных наночастиц, более длительное время не связываются в $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В результате взаимодействия ионов Ca^{2+} с гидроксильными группами OH^- центры кристаллизации образуются вблизи поверхности углеродных коллоидных частиц. Увеличение ионного обмена между ионами Ca^{2+} и ионами 2H^+ приводит к высвобождению новых молекул воды, что способствует увеличению пластификации цементного теста. Улучшению пластичности, повышению подвижности цементных смесей также способствуют молекулы воды, высвобождаемые при расщеплении агрегатов из флюкул цемента.

В результате проведенного исследования показана возможность получения наночастиц углеродных коллоидных растворов из шунгитового сырья Восточного Казахстана, определено их положительное влияние на цементные композиции. Цементные композиции, приготовленные с добавлением воды, структурированной углеродными наночастицами, обладают заметно улучшенными физико-механическими свойствами.

Список литературы

1. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. – С.-Пб.: Лань. – 2010. – С.42-107. – ISBN 978-5-8114-1070-5.
2. Беличенко Е.А., Толмачев С.Н. Закономерности изменения свойств цементных композиций, содержащих углеродные наночастицы: Сб. тезисов докл. Всеросс. конф. «Физико-химические аспекты технологии наноматериалов, их свойства и применение», Москва, окт.-нояб. 2009 г. / НИФХИ им. Л.Я. Карпова. – М., 2009. – С. 10-19.
3. ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.
4. ГОСТ 10180-2012. Межгосударственный стандарт. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

Получено 3.11.2020

МРНТИ 53.37.91

Р.В. Сапинов¹, Н.А. Куленова¹, М.А. Саденова¹, М.М. Суюндиков²¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск²Торайгыров университет, г. Павлодар**ИЗВЛЕЧЕНИЕ ОЛОВА ИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ С ПОМОЩЬЮ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

В настоящей статье автор проводит анализ перспектив извлечения ценных компонентов из электронных отходов путем гидрометаллургической переработки. Выщелачивание проводилось с помощью водного раствора соляной кислоты. Осаждение осуществлялось цементацией на пластине алюминия. Процесс осаждения проходил в обычных условиях и в ультразвуковом поле. Ультразвуковое поле заметно ускорило процесс цементации.

Осы мақалада автор гидрометаллургиялық өңдеу арқылы электрондық қалдықтардан құнды компоненттерді алу перспективаларына талдау жасайды. Сілтілеу тұз қышқылының сулы ерітіндісімен жүргізілді. Қалайы тұндыру алюминий пластинасына цементтеу арқылы жүзеге асырылды. Тұндыру процесі қалыпты жағдайда және ультрадыбыстық өрісте өтті. Ультрадыбыстық өріс цементтеу процесін едәуір жеделдетті.

In this article, the author analyzes the prospects for extracting valuable components from e-waste by hydrometallurgical processing. Leaching was carried out using an aqueous solution of hydrochloric acid. The deposition was carried out by carburizing on an aluminum plate. The deposition process took place under normal conditions and in an ultrasonic field. The ultrasonic field significantly accelerated the cementation process.

Ключевые слова: электронные отходы, олово, гидрометаллургическая переработка, экология, инновации, экономия.

Основная идея работы – это расширение материально-сырьевой базы значимых металлов, с которыми связано развитие современной экономики. Одним из таких важных металлов является олово. Олово, благодаря своим свойствам, на сегодняшний день является одним из наиболее востребованных металлов. Цена на рафинированное олово в июле 2020 года составила 17400 долларов за 1 тонну [1]. Его применение весьма разнообразно. Поскольку олово не вступает во взаимодействие с пищевыми продуктами, его используют для производства белой жести, из которой изготавливают консервные банки. Также олово используется для производства аккумуляторов, солнечных батарей, в химической промышленности, производстве сплавов с медью, а также при изготовлении припоя для электронной промышленности. В 2019 году было использовано 354,2 тыс. тонн рафинированного олова [2]. Крупнейшими потребителями рафинированного олова были Китай – $178 \cdot 10^3$ тонн (в целом Азия – $258 \cdot 10^3$ тонн) [3] и США – $44 \cdot 10^3$ тонн [4]. На рис. 1 отображено современное состояние использования рафинированного олова в различных областях производства [5]. Показано, что около половины всего произведенного олова, а именно 47 %, расходуется на изготовление припоя. В составе химикатов и на получение белой жести использовано 18 % и 13 % металла соответственно.

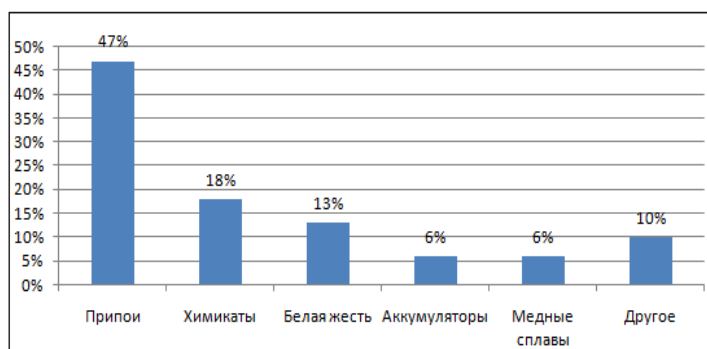


Рисунок 1 – Распределение использования олова в различных областях производства

При этом количество олова, получаемого из вторичного сырья, по данным ИТА (2019) составляет не более 32 % [5]. За последние десять лет годовое производство олова в мире возросло с 265 млн тонн в 2010 году до 310 тыс. тонн в 2019 (рис. 2, а) [6]. На рис. 2, б представлены данные по распределению олова, произведенного в 2019 году, по странам-производителям. Показано, что лидером по производству олова в мире является КНР – 85000 тонн, затем идет Индонезия – 80000 тонн, Бирма – 54000 тонн, Перу – 18500 тонн, Боливия и Бразилия по 17000 тонн, Конго – 10000 тонн, Нигерия – 7500 тонн и Австралия – 7000 тонн [7].

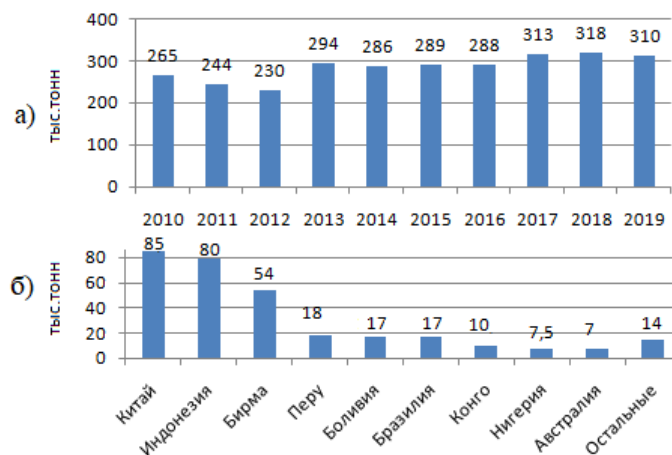


Рисунок 2 – Годовое производство олова в мире за период с 2010 по 2019 годы (а), и распределение произведенного в 2019 году олова по странам-производителям (б)

Лидерство Китая в добыче и производстве олова (и многих других металлов) связано с потребностью удовлетворения своей быстро растущей экономики [8]. Однако в связи с торговой войной между США и Китаем и пандемией коронавируса, наблюдается некоторый застой в области производства и использования олова. Тем не менее, среднесрочные и долгосрочные перспективы спроса очень позитивны. Проведенные исследования тенденций в области спроса на олово позволяют сделать вывод о том, что потребность в этом металле будет стабильной и даже несколько расти. В связи с этим ожидается, что после 2023 года рынок рафинированного олова столкнется со значительным дефицитом [9]. По причине стабильного спроса на олово актуален вопрос о достаточной минерально-сырьевой базе для обеспечения такого спроса в перспективе. Существуют различные подходы к подсчету ресурсов олова в мире. Согласно данным ИТА, мировые ресурсы олова на конец 2019 года составили около $15,4 \cdot 10^6$ тонн. Из них около 39 % ($6 \cdot 10^6$ тонн) ресурсов соответствовали стандартам CRIRSCO, членами которого являются Австралия, Канада, Чили, Европа, Монголия, Россия, Южная Африка и Соединенные Штаты Америки, Индия и Казахстан. В соответствии со стандартами группы CRIRSCO, в первую пятерку стран по доле мировых ресурсов, соответствующих требованиям, вошли Россия – 29 %, Австралия – 15 %, Перу – 9 %, ДР Конго – 9 % и Бразилия – 8 %. Подсчет ресурсов без учета требований стандартов CRIRSCO, показал что в первую пятерку стран входят Китай – 38 %), Россия – 11 %, Австралия – 7 %, Индонезия – 7 % и Боливия – 4 % [10]. Казахстан, согласно данным CRIRSCO, имеет резервы олова в количестве $351 \cdot 10^3$ тонн. Помимо минеральных источников, источниками олова могут являться техногенные отходы. Изыскания в этом направлении показали перспективность использования песков обогащательных фабрик для получения олова [11]. На территории Казахстана таким источником являются хвосты Белогорской ГОК. Однако самым оптимальным решением для расширения материально-сырьевой базы является рециклинг электронных отходов. Об этом говорит тот факт, что на припой, которые используют для крепления электронных деталей к печатным платам, идет 47 % всего производимого олова. Количество электронных оловосодержащих отходов с каждым годом будем расти, составляя более 50 млн. тонн ежегодно. И из этого объема толь-

ко небольшая часть электронных отходов перерабатывается [12]. В своей работе мы уделили внимание переработке печатных плат смартфонов с целью извлечения олова и свинца, как одному из перспективных направлений. В 4 квартале 2019 года мировые продажи смартфонов составили 368,8 млн. шт. [13]. Печатные платы смартфонов предназначены для монтажа электронных компонентов при помощи припоя, содержащего олово. Важно знать, что содержание олова и других ценных металлов в смартфонах больше, чем в минеральной руде [14], а их рециклинг позволит снизить выделение CO_2 в атмосферу [15]. В настоящее время существуют различные подходы к переработке печатных плат с электронными компонентами. Для телефонных печатных плат могут применяться пирометаллургические процессы, в которых благородные металлы накапливаются в основных металлах (медь, олово или свинец), а затем очищаются [16], гидрометаллургические [17,18] и совмещенные процессы [19]. Существуют способы, при которых смартфон перемалывается полностью вместе со всеми компонентами, кроме батарей. В этом случае отдельные элементы, которые находятся в небольшом количестве, селективно извлечь затруднительно. Для того чтобы извлечь все ценные компоненты из печатных плат в наиболее полном объеме, на первом этапе необходимо отделить плату от корпуса телефона, а затем электронные компоненты от платы [20]. После отделения электронных компонентов от платы их следуют сортировать и перерабатывать отдельно. При этом к печатным платам телефонов можно применить все те же методы переработки, что и к компьютерным платам. На рис. 3 показана традиционная схема переработки электронных печатных плат смартфонов.

Представленная схема предполагает обжиг электронных печатных плат смартфонов. После этого материал измельчается и подвергается выщелачиванию. Основной целью для извлечения являются благородные металлы и Cu, Sn, Zn, Pb и другие менее ценные металлы обычно не принимаются во внимание. Указанный метод имеет ряд недостатков. Главные – это повышенный расход энергии, выделение CO_2 и других вредных веществ при горении и потеря некоторых ценных компонентов. Самыми перспективными методами переработки для электронных печатных плат являются гидрометаллургические методы переработки [21], поэтому именно они будут выбраны как метод переработки печатных плат телефонов. Принято решение проводить выщелачивание олова с помощью водного раствора соляной кислоты. Осаждение из продуктивного раствора осуществляется различными способами. Учитывая величину электрохимического потенциала олова, можно предположить, что одним из эффективных методов осаждения олова из раствора может быть его электрохимическое контактное вытеснение с использованием алюминия из водных растворов соляной кислоты. Этот процесс в специальной литературе часто называют термином цементация. Известно также влияние на интенсификацию процесса цементации вибрационного и ультразвукового полей [12]. Процесс цементации осуществляется как в обычных условиях при комнатной температуре, так и в ультразвуковом поле. Осаждение олова из продуктивного раствора осуществляется цементацией на пластине алюминия. Схема проведения эксперимента приведена на рис. 4.

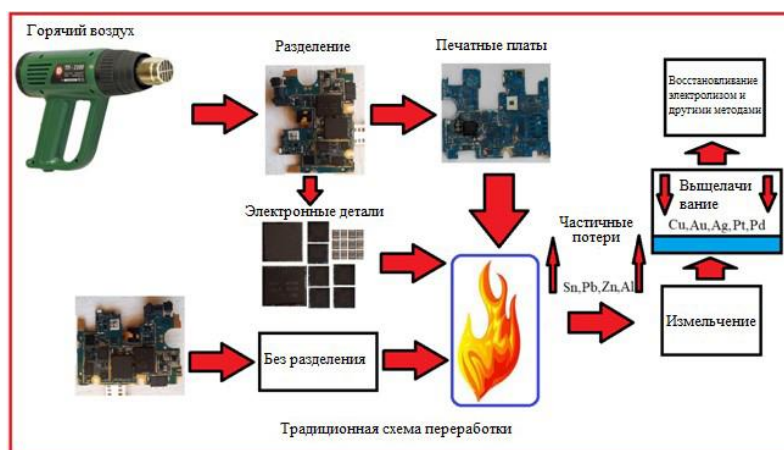


Рисунок 3 – Традиционная схема переработки электронных печатных плат смартфонов

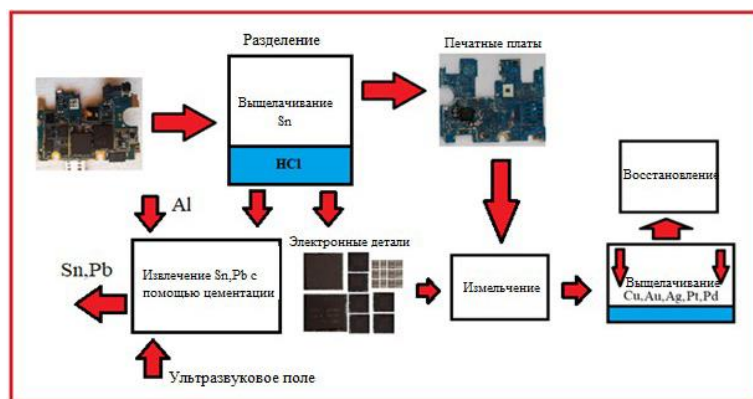


Рисунок 4 – Предлагаемая схема переработки электронных отходов

Материалы и методы. Для исследования были отобраны образцы печатных плат из изношенных смартфонов следующих марок: Xiaomi MS63B, Samsung SM – J100H105, Huawei PRA – LA1, Lenovo A1000, Samsung GT – C3300, K NOKA L800, Samsung SGH-C230, Samsung SGH-E250i, Samsung GT – E2152, ZTE – ZTEC330, ZTE – ZTEC-5160. Часть материала была измельчена для изучения химического состава и смешана, так как будет трудно сортировать их по сортам и типам во время обработки в промышленном масштабе. Содержание ценных компонентов материала определяли с использованием масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS 7500 сх от Agilenttechnologies (США). Печатные платы были разделены на большие куски размером около 5 x 5 см и более. Исходные материалы – печатные платы помещали в термостойкий лабораторный стеклянный сосуд для выщелачивания без механического измельчения. Фотография исходного материала показана на рис. 5. Химическое покрытие не было удалено с поверхности. Для процесса выщелачивания использовали водный раствор соляной кислоты с концентрацией = 2М; температура раствора 75 °С, W:T = 10, скорость перемешивания 300 об/мин в течение 6 часов.



Рисунок 5 – Печатные платы сотовых телефонов

Результаты и обсуждение. Средние значения содержания ценных компонентов в отходах печатных плат мобильных телефонов и смартфонов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Средние концентрация металлов в образцах смеси печатных плат (мас. %)

Cu	Fe	Al	Sn	Ni	Zn	Pb	Ag	Au
27.2	3.24	1.34	2.23	1.97	0.68	0.34	0.17	0.18

После 6 часов выщелачивания практически все электронные компоненты были отделены от печатных плат (рис. 6, б), и припой на их поверхности визуально не наблюдалось (рис. 6, а).



Рисунок 6 – ПП после выщелачивания

В продуктивный раствор в основном были переведены Al, Sn и Pb. Их извлечение составило 82,1 %, 87 % и 97,3 % от средней концентрации металлов в материале соответственно. Медь, серебро и золото в PLS не обнаружено. Полученные по данным эксперимента степени извлечения различных металлов из ПП в PLS показаны в табл. 2.

Таблица 2

Степень извлечения различных металлов из ПП в PLS

	Cu	Fe	Al	Sn	Ni	Zn	Pb	Ag
(%)	0	43,4	82,1	87	2,9	0.65	97,3	0

Стадия цементации. Проведенное вытеснение олова из продуктивного раствора на пластине алюминия в обычных условиях и в ультразвуковом поле показало, что при интенсификации процесса ультразвуком его скорость возрастает. Продолжение работ в этом направлении выглядит перспективным.

Выводы. В настоящей работе предлагается способ предварительной обработки плат смартфонов без измельчения с целью удаления припоя и одновременного демонтажа электронных компонентов. Это позволит извлекать олово в продуктивный раствор перед основной обработкой с целью извлечения благородных металлов. Процесс цементации на стадии осаждения олова из продуктивного раствора предложено интенсифицировать при помощи воздействия ультразвукового поля. Проведенный эксперимент показал эффективность выщелачивания с целью удаления припоя путем воздействия раствора HCl с неизмельченных печатных плат смартфонов и мобильных устройств различных марок и типов. Во время выщелачивания наблюдалось отделение электронных деталей от печатных плат, что делает процесс еще более эффективным, поскольку исключается необходимость в отдельной операции демонтажа электронных деталей от печатной платы. Дальнейшие изыскания в направлении осаждения олова из продуктивного раствора цементацией в ультразвуковом поле также являются перспективными. Предложенная технология является ресурсо- и энергосберегающей и позволяет эффективно извлекать олово из электронных отходов. Авторы планируют продолжить исследования в данном направлении для последующего усовершенствования извлечения благородных металлов из печатных плат смартфонов и других телефонных аппаратов.

Список литературы

1. <https://markets.businessinsider.com/commodities/tin-price>
2. <https://www.internationaltin.org/heritage-vision/>
3. <https://www.statista.com/statistics/1131731/china-refined-tin-consumption-volume/>
4. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-tin.pdf>
5. <https://www.internationaltin.org/tin-users-see-weaker-markets/>
6. <https://www.usgs.gov/centers/nmic/tin-statistics-and-information>

7. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>
8. <https://www.doi.gov/ocl/global-mineral-consumption>
9. <https://www.internationaltin.org/reports/tin-industry-review-2020/>
10. <https://www.internationaltin.org/reports/2020-report-on-global-tin-resources-reserves/>
11. López, F.A.; García-Díaz, I.; Rodríguez Largo, O.; Polonio, F.G.; Llorens, T. Recovery and Purification of Tin from Tailings from the Penouta Sn-Ta-Nb Deposit. *Minerals* 2018, 8, 20. <https://doi.org/10.3390/min8010020>
12. Sapinov R. V.; Sadenova M. A.; Kulenova N. A.; Oleinikova N. V. Improving Hydrometallurgical Methods for Processing Tincontaining Electronic Waste. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS* 2020, 81. DOI: 10.3303/CET2081171
13. <https://www.idc.com/promo/smartphone-market-share/vendor>
14. Wansi, E., D'Ans, P., Gonda, L., Segato, T., & Degrez, M. (2018). Waste Management of Discarded Cell Phones and Proposal of Material Recovery Techniques. *Procedia CIRP*, 69, 974–979. doi:10.1016/j.procir.2017.11.011
15. UNEP (International Panel for Sustainable Resource Management, United Nations Environmental Programme). *Metal Recycling - Opportunities, Limits, Infrastructure*. Paris (2013).
16. Kamberović, Ž., Ranitović, M., Korać, M., Andjić, Z., Gajić, N., Djokić, J., & Jevtić, S. (2018). Hydrometallurgical Process for Selective Metals Recovery from Waste-Printed Circuit Boards. *Metals*, 8(6), 441. doi:10.3390/met8060441
17. Kopacek, B. (2016). Intelligent Disassembly of components from printed circuit boards to enable re-use and more efficient recovery of critical metals. *IFAC-PapersOnLine*, 49 (29), 190-195. doi:10.1016/j.ifacol.2016.11.100
18. Petter, P. M. H., Veit, H. M., & Bernardes, A. M. (2014). Evaluation of gold and silver leaching from printed circuit board of cellphones. *Waste Management*, 34(2), 475–482. doi:10.1016/j.wasman.2013.10.032
19. Havlik, T., Orac, D., Petranikova, M., Miskufova, A., Kukurugya, F., & Takacova, Z. (2010). Leaching of copper and tin from used printed circuit boards after thermal treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 183(1-3), 866–873. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.07.107
20. Sethurajan, M., van Hullebusch, E.D., Fontana, D., Akcil, A., Deveci, H., Batinic, B., ... Chmielarz, A. (2019). Recent advances on hydrometallurgical recovery of critical and precious elements from end of life electronic wastes - a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1–64. doi:10.1080/10643389.2018.1540760
21. Wang, L., Li, Q., Sun, X., & Wang, L. (2018). Separation and recovery of copper from waste printed circuit boards leach solution using solvent extraction with Acorga M5640 as extractant. *Separation Science and Technology*, 1–10. doi:10.1080/01496395.2018.1539106

Получено 3.11.2020

МНРТІ 86.01+86.29

Г.С. Саттарова¹, Ж.К. Идришева², А.А. Останин¹

¹Карагандинский технический университет, г. Караганда

²Восточно-Казахстанский технический университет, г. Усть-Каменогорск

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КАЗАХСТАНА

В данной статье представлены результаты статистического анализа производственного травматизма, произошедшего на угольных шахтах Казахстана за 2015-2019 года. При анализе учитывались сведения о пострадавших (стаж, возраст) и данные о времени происшествия (месяц года, день недели и рабочая смена). Это позволило установить динамику случаев производственного травматизма по времени происшествия и человеческому фактору и дать рекомендации по ее снижению.

*Бұл мақалада 2015-2019 жылдары Қазақстанның көмір шахталарында болған өндірістік жа-
рақаттанудың статистикалық талдауының нәтижелері келтірілген. Талдау кезінде зардап
шеккендер туралы мәліметтер (өтілі, жасы) және оқиға уақыты туралы мәліметтер (жыл айы,*

апта күні және жұмыс ауысымы) ескерілді. Бұл оқиға уақыты мен адам факторы бойынша өндірістік жарақаттану жағдайларының динамикасын анықтауға және оны төмендету бойынша ұсыныстар беруге мүмкіндік берді.

This article presents the results of statistical analysis of industrial injuries that occurred at coal mines in Kazakhstan in 2015-2019. The analysis took into account information about the victims (length of service, age) and data about the time of the incident (month of the year, day of the week and work shift). This allowed us to determine the dynamics of industrial injuries by the time of the accident and the human factor and to make recommendations for its reduction.

Ключевые слова: производственный травматизм, угольные шахты.

Одной из наиболее крупных отраслей в экономике Казахстана является угольная промышленность. Наша страна занимает 8 место в мире по объему геологических запасов угля, который превышает 283 млрд.т. [1].

На сегодняшний день добыча угля сопровождается высоким уровнем производственного травматизма на угольных шахтах, что является одной из основных проблем в области безопасности и охраны труда на горных предприятиях. Технологический процесс добычи угля сопровождается опасными производственными факторами, такими как движущиеся машины и механизмы, подвижные элементы производственного оборудования, электрический ток, замкнутое пространство, обрушение горной массы, которые влекут за собой случаи производственного травматизма [2, 3].

В связи с этим, целью исследования является выявление и анализ возможных причин производственного травматизма посредством применения статистического метода. Данный метод исследования дает возможность получить общую картину состояния травматизма, установить его динамику, выявить определенные связи и зависимости.

В статье проведен статистический анализ случаев производственного травматизма, произошедших на шахтах Карагандинского угольного бассейна за 2015-2019 год. Анализ травматизма был проведен по временному фактору: месяц, день недели и рабочая смена, а также по возрасту и стажу пострадавших.

На рис. 1, 2, 3 представлено распределение производственных травм по временному фактору, что позволило выявить неблагоприятный период в рабочем году, неделе и смене.

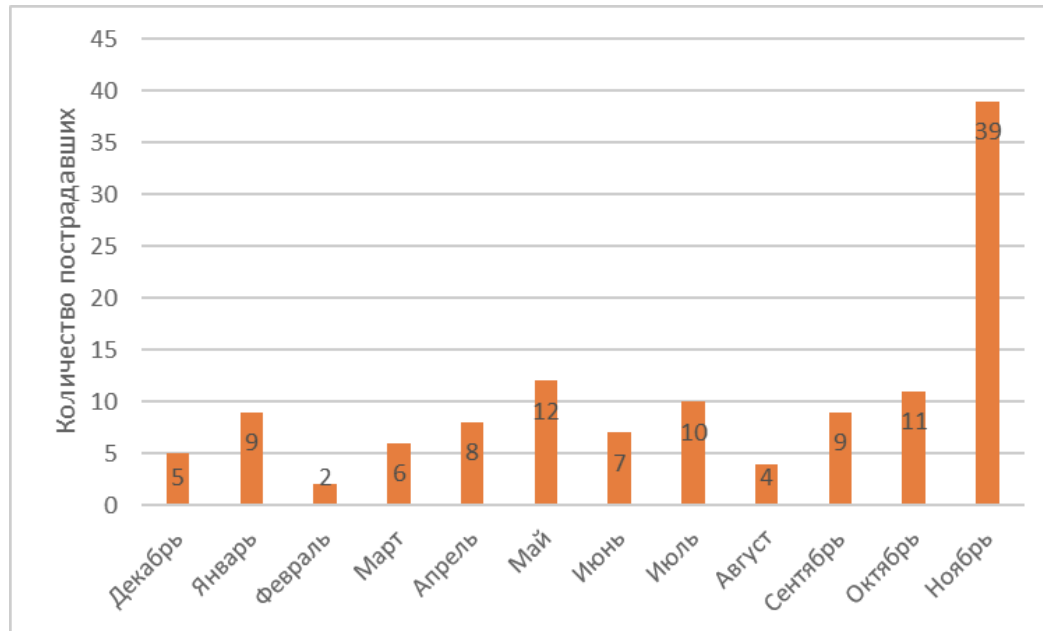


Рисунок 1 – Распределение количества производственных травм по месяцам

Как показано на рис. 1, высокий уровень травматизма приходится на конец рабочего года. Резкое увеличение количества травм в ноябре месяце объясняется тем, что сроки выполнения годового плана добычи угля подходят к концу и руководство шахт требует закрытие плана до начала зимнего периода. В связи с этим состояние безопасности уходит на второй план, чаще происходят нарушения технологического процесса, пренебрежение требованиями охраны труда и техники безопасности, что приводит к росту уровня случаев производственного травматизма.

Распределение травм по дням недели дает определенную статистику, в какие именно дни чаще происходит травмирование работников.

Распределение количества производственных травм по дням недели, представленное на рис. 2, показывает, что в начале рабочей недели наблюдается резкий подъем количества травм, а концу недели – их резкий спад. Минимальное число травм выпадает на пятницу, так как в этот день на шахтах проводятся мероприятия по безопасности и охране труда. Главные инженеры по охране труда и техники безопасности в этот день проводят дополнительные инструктажи, информируют и предупреждают работников об опасных и вредных производственных факторах рабочей среды. В субботу и в воскресенье эффект данных мероприятий сохраняется.

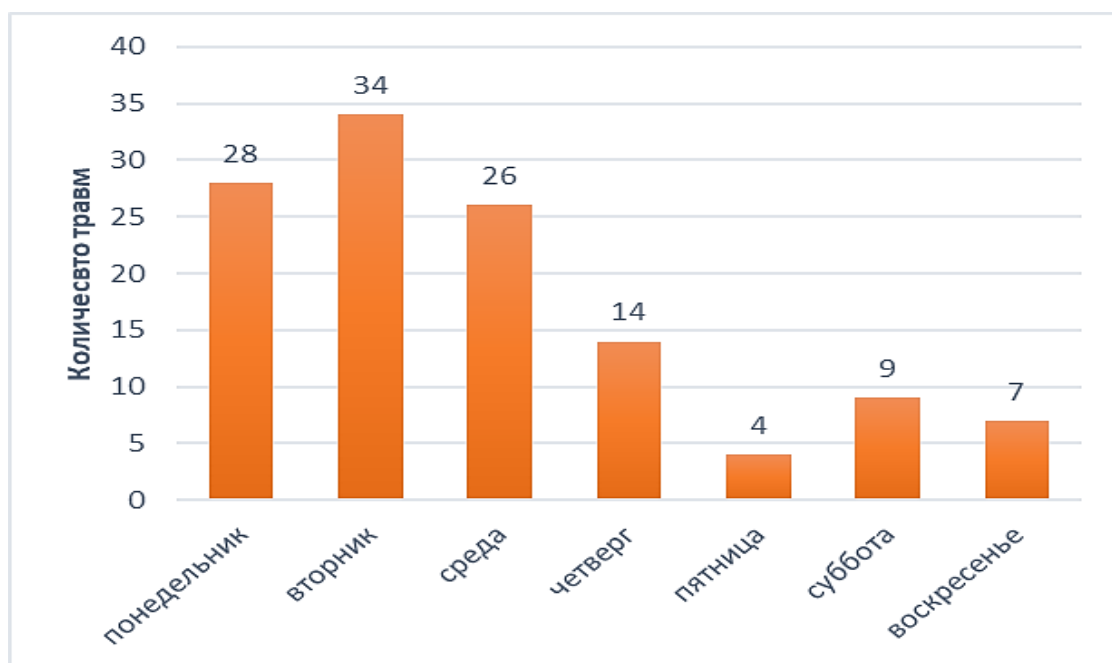


Рисунок 2 – Распределение количества производственных травм по дням недели

Производственный процесс на угольных шахтах выполняется непрерывно, следовательно шахты работают круглосуточно. Для такого режима работы установлен четырех сменный график: 1 смена (утренняя) – 8:00-14:00, 2 смена (дневная) – 14:00-20:00, 3 смена (вечерняя) – 20:00-2:00, 4 смена (ночная) – 2:00-8:00. Распределение количества производственных травм по рабочим сменам, представленное на рис. 3, показало, что больше всего случаев травматизма происходят в утреннюю смену. Это связано с тем, что утро – не самый продуктивный период. С 7 до 10 часов утра организм человека только раскачивается, и все когнитивные процессы, такие как мышление, восприятие, ощущение и внимание протекают медленнее, чем в другое время суток [4], поэтому горняки еще не полностью сосредоточены на работе, не могут своевременно реагировать на возникающие опасные производственные факторы и попадают под их воздействие.

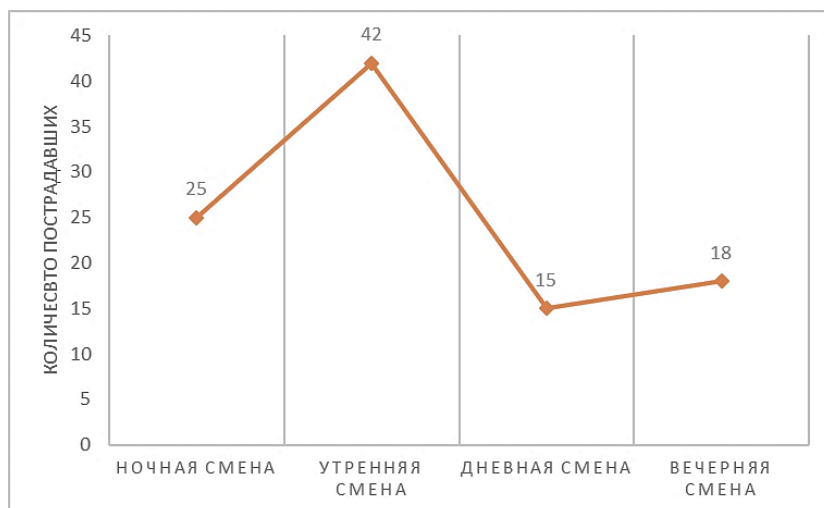


Рисунок 3 – Распределение количества производственных травм по рабочим сменам

Одним из основных факторов, определяющих склонность работника к травматизму, является возраст. Так, на рис. 4 представлена динамика травматизма в зависимости от возраста пострадавшего.

По диаграмме видно, что наибольшую склонность к производственному травматизму имеют работники в возрасте от 50 до 59 лет. Данный факт объясняется тем, что работники данной возрастной категории из-за наличия большого профессионального опыта работы и излишней самоуверенности в своих способностях и возможностях периодически пренебрегают требованиями охраны труда. Кроме того, у работников более зрелого возраста снижены психологические и физиологические функции организма (остроты зрения, быстроты реакции координации движений, памяти и т. д.), что приводит к снижению реакции на производственные опасности.

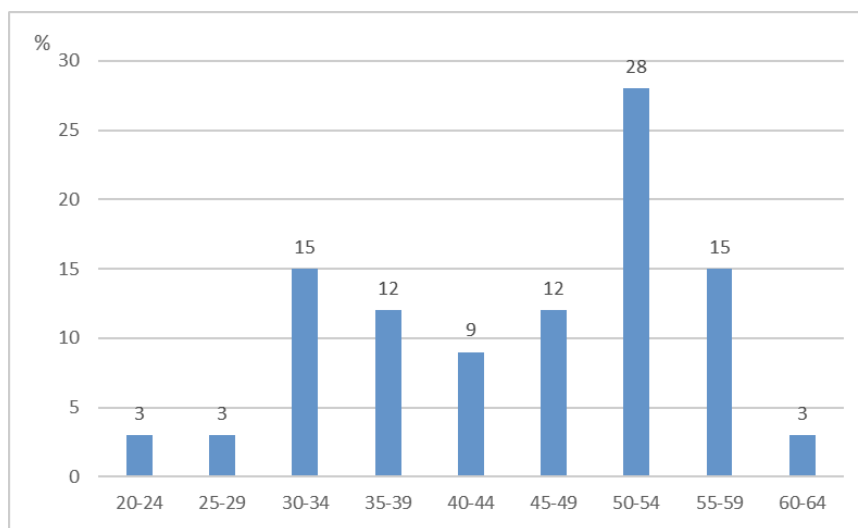


Рисунок 4 – Распределение травм по возрастным группам

Проведен анализ распределения производственных травм с учетом стажа работы (рис. 5). Наибольший показатель травматизма – 18 % от всех случаев наблюдается у лиц со стажем работы, не превышающим одного года. 16 % случаев травматизма имеют лица, стаж которых равен 13-15

лет. Если в первом случае высокий показатель травматизма можно охарактеризовать неопытностью и некомпетентностью работников, то во втором случае причиной может являться чрезмерная самоуверенность, так как работники уже знакомы с производством и делают всю работу на автоматизме, пренебрегая требованиями техники безопасности.

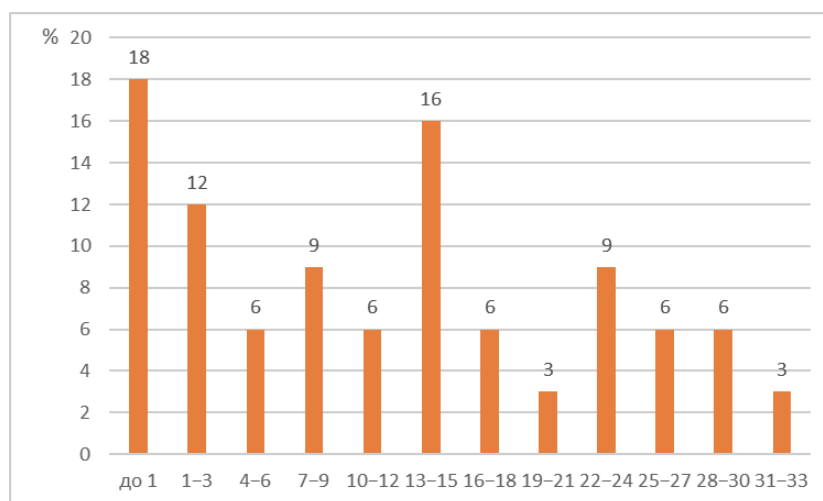


Рисунок 5 – Распределение производственных травм по стажу работы

Таким образом, статистический анализ производственного травматизма, произошедшего на угольных шахтах Казахстана, по временному фактору показал, что наибольшее количество случаев травматизма происходит в ноябре месяце, наиболее неблагоприятным днем недели зафиксирован вторник, а также чаще всего несчастные случаи, сопровождаемые травмами, происходят в утреннюю смену. Больше всего производственных травм на изучаемых предприятиях было зарегистрировано у лиц в возрасте от 50 до 59 лет. Оценка производственного травматизма в стажевом аспекте показала, что в основном травмировались лица при стаже работы до 1 года и от 13 до 15 лет.

В связи с этим на угольных шахтах рекомендуется предпринять следующие организационные меры для снижения производственного травматизма:

- в неблагоприятный временной период необходимо усилить производственный контроль, дополнительно проводить обучения безопасным методам и приемам выполнения работ и проверку знаний требований охраны труда, а также проводить дополнительное согласование работ с начальниками участков, бригадирами;
- работников возрастной группы от 50 до 59 лет привлекать для выполнения наименее интенсивных, сложных и опасных работ, при возможности отправлять на пенсию, компенсируя пенсионными выплатами.
- малоопытные сотрудники должны работать только в бригаде с более опытными, которые будут осуществлять постоянный контроль за начинающими работниками в течение рабочей смены и делиться своими навыками и опытом.

Список литературы

1. <https://kursiv.kz/news/kompanii-i-rynki/2016-05/top-10-stran-po-zapasam-uglya>
2. Чеботарев А.Г. Современные условия труда на горнодобывающих предприятиях и пути их нормализации // Горная промышленность. – 2012. - №2(84).
3. <https://www.protrud.com>
4. <https://www.kp.ru/putevoditel/zdorove/biologicheskie-chasy/>

Получено 3.11.2020

УКАЗАТЕЛЬ
научных статей опубликованных в журнале
«Вестник ВКТУ» в 2020 году

	№	стр.
НАУКИ О ЗЕМЛЕ И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ		
<i>Абдуғалиева Г.Ю., Имангазин М.К., Оралбаев А.А.</i> Анализ безопасности карьера ТОО «Ситал-2» по добыче глин Актюбинской области	4	3
<i>Ақылбаева А.Т., Мизерная М.А., Мирошникова А.П., Черненко З.И.</i> Малые и средние золоторудные месторождения – перспективное направление развития минерально-сырьевой базы золота Восточного Казахстана	4	9
<i>Амралинова Б.Б., Портнов В.С., Амангелдіқызы А.</i> Пути накопления Ge в углях Карагандинского угольного бассейна	1	3
<i>Амралинова Б.Б., Портнов В.С., Копобаева А.Н., Блялова Г.Г., Амангельдықызы А., Асқарова Н.С.</i> Петрохимическая характеристика гранитоидов месторождения Акчатау	2	3
<i>Амралинова Б.Б., Ақылбаева А.Т., Ағалиева Б.Б., Фролова О.В., Матайбаева И.Е.</i> Геохимия поверхностных вод озер Бурабайского массива	4	14
<i>Апишкур Б., Ипалаков Т.Т., Капасов А.К., Алимкулов М.М.</i> Теоретические основы метода конечных элементов и разработка алгоритма расчета напряженно-деформированного состояния земляного полотна	4	17
<i>Апишкур Б., Ипалаков Т.Т., Алимкулов М.М.</i> Деформируемость железнодорожных насыпей	4	22
<i>Асанов Д.А., Запасный В.В., Еркінбеков М.Е., Ткаченко О.А., Маратова Г.Р., Садуакасова Г.Н.</i> Поиск источников выбросов сероводорода в атмосферу в Усть-Каменогорске. Способы их контроля	3	3
<i>Байтлесева Л.И., Завадская Л.Н., Кенесарина К.Х.</i> Проблемы изучения и сохранения биоразнообразия Западно-Казахстанской области (на примере Зеленовского района и окрестностей города Уральска)	1	10
<i>Бисатова А.Е., Дьячков Б.А., Мизерная М.А., Зимановская Н.А.</i> Некоторые особенности геологического строения и минералогического состава золото-лиственитового типа оруденения на Южном Алтае (месторождение Маралиха)	2	10
<i>Битманов Е.Ж., Масенов К.Б.</i> Мониторинг состояния земельных ресурсов близ промышленных зон города Павлодар	2	16
<i>Буртыль Ю.В.</i> Практика георадиолокационного исследования в Республике Казахстан	4	26
<i>Дрючкова О.А., Мамяченков С.В., Асанов Д.А., Быков Р.А., Кожаканова М.Б.</i> Разработка технологии переработки тонко вкрапленных упорных лежалых хвостов обогащения медно-цинковых руд	2	20
<i>Жадыкова Б.Е., Егорина А.В., Кайсина М.И.</i> Анализ экологического состояния бассейна реки Кызылсу в пределах ТОО «Бакырчикского горнодобывающего предприятия»	1	13
<i>Жаманбаева М.К., Музыбаева Ш.А., Букунова А.Ш., Сарсенбекова Г.А.</i> Особенность фиксации ионов тяжелых металлов (Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+}) на природном материале – монтмориллоните	1	19
<i>Зацерковский В.И., Пличко Л.В., Амралинова Б.Б.</i> Математические модели оценки и прогнозирования состояния качества поверхностных вод средствами ГИС и ДЗЗ	1	25
<i>Зейтинова Ш.Б., Акпаров Т.О., Барсуков С.В.</i> Опыт проведения работ по строительству клетевоего ствола шахты «Тентекская»	1	32
<i>Иванов Б.И.</i> Влияние физико-географических условий местности на распространение электромагнитных волн на территории Шемонаихинского района Восточно-Казахстанской области	1	38
<i>Идришева Ж.К., Ермуханова Н.Б., Самонин В.В., Керимбекова З.М., Танжарыков П.А.</i> Разработка методов детоксикации почв, содержащих тяжелые металлы и радионуклиды	1	43
<i>Исмаилова А.А., Өтегенова А.Е.</i> Экспертная система диагностики болезней животных	3	17
<i>Иксанова С.А., Бегайдарова К.Д.</i> Анализ многолетнего использования лиманов в Западно-Казахстанской области	1	49
<i>Ихсанов К.А., Калешева Г.Е., Губайдуллин К.Ж., Ким А.В.</i> Совершенствование конструкции гидроударного устройства для увеличения производительности скважины при добыче высоковязких нефтей	1	52
<i>Қабдрахманова Н.Қ., Мусабаева М.Н., Жәнісқабеева Н.Ж., Сабырбаева Б.Т.</i> Комплексный анализ влияния антропогенных факторов на ландшафтно-геохимическое состояние геосистем Верхне-Иртышского бассейна	2	26

Қабдрахманова Н.Қ., Мусабаева М.Н., Женсикбаева Н.Ж., Кайсарова А.С. Концепция выявления и картографирования геосистем Верхне-Иртышского бассейна, их системная структура	3	9
Қабдрахманов А.Е., Денисова О.К., Костыгова Л.А. Оценка современного состояния и динамики развития отрасли водоснабжения Восточно-Казахстанской области	4	33
Карменова М.А., Глебалдинова А.С., Смаилова С.С., Попова Г.В. Применение метода пространственной кластеризации для сейсмических данных	4	36
Касымова Д.Б., Әділқанова М.Ә., Мамяченков С.В., Сизикова Н.В. Методы селективного разделения золота и меди при переработке золотосодержащего сырья с повышенным содержанием меди	4	40
Колпакова В.П., Еремеева Ю.Н., Анапьянова С.Б. Мероприятия по водосбережению и рециркуляции воды на примере ВКГТУ им. Д. Серикбаева	1	56
Курмангалиев Д.Б., Абдулина С.А. Обзор патентных материалов электролитно-плазменного окисления	3	13
Лиакын Л., Онолбаева Ж.С., Мамяченков С.В. Термодинамическое исследование равновесия в системе $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+} - \text{Zn}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ через диаграмму Eh-pH (диаграмма ПУРБЭ)	3	21
Маратова Г.Р., Даумова Г.К., Асанов Д.А., Садуақасова А.Т. Изучение возможности использования ультрадиспергированных сорбентов для доочистки шахтных вод	3	26
Мамышева А.М., Тогузова М.М., Рахымбердина М.Е., Амралинова Б.Б., Тогузов М.З. Разработка картографического обеспечения мониторинга радиоустойчивости территории ВКГТУ им. Д. Серикбаева с применением современных ГИС-технологий	2	29
Рахымбердина М.Е., Амралинова Б.Б., Тогузова М.М., Касымов Д.К., Токтарбаева М.К. Изучение осадок и смещений хвостохранилища и карьера месторождения «Секисовское» как основа для последующего прогнозирования деформаций	1	60
Розов Е.И., Жатқанбаев Е.Е., Жатқанбаева Ж.К., Болатова А.Б., Нурымов Ж.Д. Анализ экономической эффективности добычи золота на россыпных месторождениях способами бульдозерно-скреперным и подземного скважинного выщелачивания	3	30
Сапаров Қ.Т., Женсикбаева Н.Ж., Құдайбергенова Н.С. Использование новых технологий обучения на основе обновленной образовательной программы при изучении курса географии	4	47
Сапаров Қ.Т., Сергеева А.М., Көшім Ә.Ф. Анализ иностранного опыта развития рынка этнокультурного туризма	1	64
Сексенова Н.К., Быков Р.А., Кожаканова М.Б., Қантай Н., Мамяченков С.В. Современные направления переработки отходов горно-металлургического производства с использованием комбинированных схем	2	34
Сексенова Н., Исабай Ж.Қ., Достоева А.М., Арабаев Р.А. Исследование на обогатимость продукта свинцовой обогатительной фабрики АО «ЖГОК»	4	50
Сергеева А.М., Көшім Ә.Ф., Сапаров Қ.Т. Рекреационно-географические исследование при создании бренда региона (на примере Актюбинской и Мангистауской области)	1	70
Сплодитель А.О., Сорокина Л.Ю. Задачи геоэкологического мониторинга техногенных изменений ландшафтов Украины	2	39
Сураужанов К.О., Тогузов М.З. Перспективные способы переработки хлоридных отходов титанового производства	2	44
Тарасенко Г.В. Тектоника западной части Туранской плиты с позиций мобилизма	1	76
Тарасенко Г.В. Геологическое строение Аккулковского вала и перспективы газоносности района	2	48
Тымбаева А.А., Куленова Н.А., Мамяченков С.В. Вопрос накопления сульфата натрия при гидрометаллургической переработке мышьяковых промпродуктов	2	55
Феоктистова Е.А., Иноземцева Т.А., Наумова В.И. Структура культурного ландшафта исторических городов Восточного Казахстана: этапы и тенденции развития	1	79
Фролова О.В., Амралинова Б.Б., Ағалиева Б.Б., Дьячков Б.А., Матайбаева И.Е., Зимановская Н.А. Особенности геологического строения и оценка перспектив Дельбегетейского оловорудного узла (Западная Калба)	3	36
Черненко З.И., Мизерная М.А. Перспективная оценка на золото-кварцевое и золото-березитовое оруденение месторождения манка (Восточный Казахстан)	3	43
Черненко З.И., Матайбаева И.Е. Особенности образования и перспективная оценка редкометально-флюоритового типа оруденения месторождения Караджал (Восточный Казахстан)	3	48
Четтыкбаев Р.К., Денисова Н.Ф. Разработка информационно-аналитической системы мониторинга паводковой обстановки на реках ВКО	4	54

- Шапошник С.Н., Шапошник Ю.Н., Крупник Л.А., Нуршайыкова Г.Т.* Обоснование эффективности применения набрызгбетонной крепи горных выработок в криолитозоне 1 84

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

- Абылкалыкова Р.Б., Жапарова М.С., Иманжанова К.Т., Нуркенова Б.Д.* Механохимические процессы в металлических системах на основе железа при динамических нагрузках 2 59
- Абылкалыкова Р.Б., Квезлис Л.И., Иманжанова К.Т., Нуркенова Б.Д., Жапарова М.С.* Особенности массопереноса в тантале при ионной имплантации 2 63
- Айтказина А.К., Галкина Д.К., Нугуманов Д.Т.* Определение статистических характеристик прочности бетона 2 68
- Асылқанов Е.Е., Гольцев А.Г., Чернавин В.Ю.* Управление качеством строительства объектов при использовании BIM-технологий 1 90
- Алонцева Д.Л., Хожанов А.Р., Герт С.С., Садибеков А.Б., Калюжный С.Н.* Роботизированное микроплазменное напыление функциональных покрытий из тантала на титановые имплантаты 3 52
- Аубакирова Д.М., Ердыбаева Н.К., Сагдолдина Ж.Б., Пичугин В.Ф.* Исследование фазового состава оксинитридных покрытий титана, выращенных методом реактивного магнетронного напыления 2 73
- Ахмедиярова А.Т., Касымова Д.Т., Ахмеджанов М.Р.* Анализ и применение пассивных оптических сети (PON) 3 57
- Ахмедиярова А.Т., Куандыкова Д.Р., Касымова Д.Т., Куандықов Б.Е., Мусабек Е.М.* Генетический подход к проектированию и оптимизации транспортной сети 4 60
- Баймолданова Л.С., Уазырханова Г.К., Гриценко Б.П., Сабиева М.К.* Перераспределение элементов многослойного покрытия (TiAlYSi)N/CrN в результате имплантации золота 2 76
- Баймолданова Л.С., Погребняк А.Д., Уазырханова Г.К., Ерболатова Г.У.* Влияние микроструктуры, межфазных границ раздела нанокompозитного покрытия (TiAlSiY)N/CrN на его трибологические свойства 4 66
- Бакиров А.Г., Жунусов А.К., Абдулина С.А., Ибраева Г.М.* Исследование алюмосиликатных микросфер из золошлаковых отходов Аксуской ГРЭС, использующих Экибастузские угли 4 72
- Бакланов А.Е., Григорьева С.В., Алимханова А.Ж., Алибеккызы К., Дмитриева Т.С.* Организация передачи символьных данных с помощью белых осветительных светодиодов 3 65
- Бакланов А.Е., Григорьева С.В., Сагынганова И.К.* Использование систолических массивов при организации конвейерной обработки данных теплосетей 4 77
- Бакытбекова Н.Б., Прохоренкова Н.В.* Повышение энергоэффективности котельной путем утилизации тепловых потерь 1 93
- Балгынова А.М.* Обоснование условия установившегося режима работы роторной центрифуги 2 81
- Балгынова А.М., Мерекекызы А.* Основные тенденции и технический уровень разработок по центробежному обезвоживанию жидких органических материалов 2 85
- Балтабеков А.Ш., Нугуманова А.Б.* Перспективы нейронных сетей и глубокого машинного обучения на примере создания рекомендательных систем 4 82
- Балтаев Т.А., Габдысалық Р.* Анализ влияния значимых факторов на геометрические параметры круглых пластин в процессе ее стабилизации энергией ультразвука 3 62
- Барукин А.С., Клецель М.Я., Әмірбек Д.Ә.* Расчет коэффициентов неготовности традиционной и новой защит преобразовательных установок 2 92
- Баширов В.Д., Сагитов Р.Ф., Балгынова А.М., Мерекекызы А., Кушалиев Д.К.* Улучшение биологической очистки сточных вод на предприятиях нефтяных и нефтехимической промышленности 3 70
- Блинаева Е.В., Попова Г.В., Смаилова С.С., Яковлев В.С.* Система обработки данных процесса выделения серы и парафина из образцов сырой нефти 2 96
- Блинаева Е.В., Блинаева Н.С., Смаилова С.С., Яковлев В.С.* Сравнительный анализ нефти месторождения Сарыбулак с нефтями других месторождений 3 74
- Вдовин В.Н.* Задача размещения терминалов по переработке мелких партий груза 2 100
- Вдовин В.Н.* Маршрутизация грузопотоков в логистике 1 98
- Витюк В.А., Витюк Г.А.* Подходы к определению параметров теплоотвода от модельных ТВС при проведении испытаний в реакторе игр 4 86
- Гайсина З.С., Гольцев А.Г., Чернавин В.Ю.* Внедрение BIM-технологий в сфере промышленной безопасности производственных зданий и сооружений 1 103

<i>Гольцев А.Г., Ипалаков Т.Т., Хасенов К.Б.</i> Выверка строительных конструкций двухлучевым лазерным прибором	1	106
<i>Григорьева С.В., Алимханова А.Ж., Дмитриева Т.С., Елеусизова К.А.</i> Оптический интернет вещей	2	104
<i>Денисова Н.Ф., Кумаргажанова С.К., Смаилова С.С., Федькин Е.М.</i> Модель оценки набора требований к аппаратному и программному обеспечению сервисов LMS университета	4	93
<i>Дудкин М.В., Елемес Д.Е., Серікқазы М.С.</i> Обоснование рациональных режимов вибрационного сита с дополнительными элементами возбудителя	1	111
<i>Дудкин М.В., Ким А.И., Мłyńczak М., Дудкина Е.Л., Жанабаева М.О.</i> Разработка и изготовление опытно-промышленного образца льдоскалывателя для зимнего содержания дорог. Корректировка решений (проект АР05130653)	2	109
<i>Дудкин М.В., Ким А.И., Мłyńczak М., Гурьянов Г.А., Дудкина Е.Л.</i> Натурные экспериментальные исследования по проекту АР05130653 и корректировка конструкции опытного промышленного образца льдоскалывателя для зимнего содержания дорог и тротуаров	2	114
<i>Дудкин М.В., Ким А.И., Мłyńczak М., Дудкина Е.Л., Хон Н.В.</i> Разработка, изготовление и корректировка конструкции опытно-промышленного образца льдоскалывателя с рабочим органом режуще-скалывающего действия на упругом подвесе (проект КН МОН РК АР05130653)	3	80
<i>Дудкин М.В., Ким А.И., Мłyńczak М., Дудкина Е.Л., Молдаханов Б.А., Аукенова Б.К.</i> Вероятностная оценка снежного фона эксплуатации снегоочистительных машин на территории Республики Казахстан	4	100
<i>Егоров А.А.</i> Термодинамика процесса воспламенения смеси в реальном цикле ДВС	1	118
<i>Егоров А.А.</i> Термодинамика процесса тепловыделения в рабочем цикле ДВС	2	120
<i>Емельянова М.Г., Бакланова О.Е.</i> Исследование методов бинаризации для решения задачи автоматического обнаружения дефектов сварных соединений	3	86
<i>Ермекова А.Т., Запасный В.В., Матюхин В.И., Асанов Д.А.</i> Исследование осаждения пыли в газах и его влияние на эффективность работы систем пылеулавливания на Аксуском заводе ферросплавов	2	125
<i>Жакупова А.Е., Рамазанова Ж.М., Ерболатова Г.У., Амангелды Ж.А., Әбдірахман О.М.</i> Современное состояние и перспективы развития двигателей-маховиков управления систем ориентации и стабилизации космических аппаратов	4	106
<i>Жаутиков Б.А., Даирбекова Г.С., Романов В.И., Зобнин Н.Н.</i> Современные достижения и перспективы в производстве литий-ионных аккумуляторов	2	128
<i>Жусупбеков А.Ж., Шакирова Н.У.</i> Проверка сплошности буронабивных свай с использованием двух методов: метод отраженной волны при низкой нагрузке и межскважинной дефектоскопии	1	109
<i>Закимова А.М., Конурбаева Ж.Т., Денисова О.К.</i> Вопросы глубокой переработки продукции животноводства в Казахстане	3	90
<i>Иноземцева Т.А., Герасименко В.Е., Феоктистова Е.А.</i> Аспекты адаптации объектов общественного и производственного назначения под жилую функцию	1	123
<i>Қантай Н., Рахадиллов Б., Алтысбаев С., Жанимхан Е.</i> Исследование трибологических свойств покрытий, взятых на поверхность стальных шаров ШХ15 с помощью механохимического синтеза	3	99
<i>Кабикинов С.Ж., Макенов А.А., Жаркенов Н.Б., Майшин А.Н.</i> Анализ действующей системы технического обслуживания горных предприятий Республики Казахстан	1	133
<i>Кадыров А.С., Аманбаев С.Ш., Балабекова К.Г.</i> Возможные конструкции опор мобильного тепловыделяющего элемента и их расчет	1	136
<i>Кадыролдина А.Т., Құсайын-Мұрат Ә.Т., Красавин А.Л., Прохоренкова Н.В.</i> Разработка информационной системы для робота-манипулятора, производящего плазменную обработку изделий сложной формы	3	95
<i>Калиев Б.К., Исинтаев Т.И., Гриценко А.В., Бурцев А.Ю., Горбачев А.А.</i> Исследования системы смазки турбокомпрессора дизельных двигателей внутреннего сгорания	1	141
<i>Капаева С.Д., Бичева А.Р., Бахыт А., Кулагин А.Г.</i> Исследование влияния способа сварки на прочностные характеристики сварного соединения	4	111
<i>Капский Д.В., Кот Е.Н., Богданович С.В., Рыбинский А.Г., Ибраев К.А.</i> Анализ условий размещения и характеристик железнодорожных переездов на дорогах Республики Казахстан	4	116
<i>Келаманов Б.С., Жумагалиев Е.У., Самуратов Е.К., Акуев А.М., Әбдірашит А.М.</i> Исследование системы Fe-Si-Al-C методом термодинамически-диаграммного анализа	1	146
<i>Келаманов Б.С., Жумагалиев Е.У., Самуратов Е.К., Акуев А.М., Ерекеева Г.С.</i> Анализ термодинамических расчетов для выплавки никель-хромового чугуна, выполненный с использованием программного комплекса «Астра-4»	2	131

Келаманов Б.С., Эбдірашит А.М., Юсупова Ж.Н., Қуатбай Е.Қ., Ізімов Д.М. Моделирование и анализ термодинамических процессов в системах Fe-Al-C и Si-C-Al	3	103
Келаманов Б.С., Жумағалиев Е.У., Акуев А.М., Самуратов Е.К., Эбдірашит А.М. Моделирование и анализ термодинамических процессов в системах Fe-Si-C и Fe-Si-Al	3	107
Келаманов Б.С., Акуев А.М., Жумағалиев Е.У., Самуратов Е.К., Тұрғанбай Ж.Ә. Моделирование и анализ термодинамических процессов в системах Fe-Mn-Si и Fe-Mn-C	4	121
Клецель М.Я., Калтаев А.Г., Талипов О.М., Акаев А.М. Экспериментальное исследование параметров электродвигателей напряжением ниже 1 кВ при обмотке статора	2	135
Кулакова Е.А., Сулейменов Б.А., Смолаж А. Моделирование процесса отсадки хромовой руды на основе скоростной гипотезы риттенгера	1	152
Курманғалиев Т.Б., Кабдуллина Д.С. Структура и свойства порошков нержавеющей и жаропрочных сплавов, полученных высокоскоростным распылением расплавов	4	126
Курманғалиев Т.Б., Бейімбек М.Е. Лазерное термическое упрочнение железоуглеродистых сплавов	2	138
Курманов А.К., Камышева Н.А. Математическая модель процесса дробления зерна в измельчителе ударно-центробежного типа	4	131
Макенов А.А., Давыдов А.А. Экспертное исследование опрокидывания автобуса на участке автомобильной дороги	2	144
Млынчак М., Дудкин М.В., Ким А.И., Дудкина Е.Л., Хон Н.В. Определение экономической эффективности результатов проекта AP05130653 «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время»	1	157
Муравьева И.Г., Капаева С.Д., Ғабдысалық Р. Технология прокатки бериллиевой фольги	2	150
Мухаметкалиева Г.Ж., Аубакирова Р.А., Саурбаева Б.С., Акимбаева Н.О. Анализ электролита цинкового производства на содержание фтора	2	154
Мырзабекова Д.М., Муздыбаев М.С., Муздыбаева А.С. Обеспечение работоспособности шарнирных узлов подземных погрузчиков с шарнирно-сочлененной рамой	4	136
Найзабаева А.А., Бакланов А.Е. Использование альтернативных источников энергии для экономии энергии	3	111
Найзабаева А.А., Бакланов А.Е. Эффективный мониторинг и контроль потребления солнечной энергией светодиодными осветительными приборами с встроенным микроконтроллером	3	115
Наумова В.И., Супроненко Н.Н., Феоктистова Е.А. Особенности проектирования детских комплексов с применением аддитивных технологий	1	163
Наумова В.И., Феоктистова Е.А., Иноземцева Т.А. Особенности формообразования энергоинформационной системы архитектурного пространства	1	168
Наумова В.И., Феоктистова Е.А., Кабылжапарова С.Р. Развитие архитектуры детских учреждений с использованием полимерных материалов	2	159
Опанасюк А.С., Возный А.А., Плотников С.В., Уазырханова Г.К., Ердыбаева Н.К., Уазырханова Ж.К. Термически-индуцированный фазовый переход в пленках Sn_xS_y	3	119
Опанасюк А.С., Возный А.А., Плотников С.В., Уазырханова Г.К., Ердыбаева Н.К., Уазырханова Ж.К. Структурные, оптические и электрические свойства пленок Sn_xS_y , нанесенных в различных условиях	3	129
Плотников С.В., Ердыбаева Н.К., Жанысов С.А., Максакова О.В., Погребняк А.Д. Структура и механические свойства многослойного покрытия TiZrN/TiSiN с наномасштабной архитектурой	3	129
Пшембаев М.К. Характер коррозионных повреждений бетонных покрытий автомобильных дорог и новые способы защиты	1	172
Пшембаев М.К., Ковалев Я.Н., Яглов В.Н. Особенности процессов гидратации и твердения цемента в присутствии наночастиц	1	175
Рахметулаева С.Б., Куанышбек М. Методы обработки сигналов мозга на основе нейрокомпьютерного интерфейса	1	184
Рахметулаева С.Б., Хасен Е. Анализ рынка онлайн-образования с целью улучшения качества с помощью информационных технологий	4	140
Рахметуллина С.Ж., Бакланова О.Е., Бугубаева А.Ж., Дмитриева Т.С. Расчет экологической опасности, связанной с риском выбросов крупных промышленных предприятий города Усть-Каменогорска	4	144
Рахметуллина Ж.Т., Мукашева Р.У., Мухамедова Р.О., Увалиева И.М., Сулейменов Н.А. Математическая и компьютерная модели процесса энерговыделения при радиационном разогреве реактора	4	148

<i>Ревуцкий А.В., Сырнев Б.В., Семилюцкая О.В.</i> Влияние технологического регламента процесса вакуумного горячего прессования на качество спеченного бериллия	1	186
<i>Русакова А.В., Жилкашинова А.М., Касымканова М.Т., Акбасова Э.Б.</i> Влияние электронного облучения на процессы радиационного дефектообразования в композитных наноструктурных материалах	3	135
<i>Русакова А.В., Машенцева А.А., Даумова Г.К.</i> Модификация поверхности ПЭТФ трековых мембран функциональными мономерами под воздействием ускоренных электронов	4	153
<i>Рыжкова Е.В., Азаматов Б.Н., Азаматова Ж.К., Болатова А.Б.</i> Способ управления процессом воздушно-плазменной резки при наличии криволинейной поверхности	3	140
<i>Сабитова А.Т., Бакланова О.Е.</i> Оценка рисков информационной безопасности	4	158
<i>Савельев А.Г., Дудкин М.В., Ким А.И., Орынбасаров А.С., Mlynczak M.</i> Метод повышения надежности металлоконструкции рабочего оборудования автогрейдера в зимних условиях эксплуатации	1	190
<i>Сагидұұмар А.Н., Тұрлыбекұлы А., Погребняк А.Д.</i> Исследование взаимодействия компонентов биокompозитного материала на основе гидроксиапатит-альгинат натрия легированного ионами серебра	4	164
<i>Саканов Д.К.</i> Методы оценки качества цементобетонных покрытий	2	167
<i>Сакенова Р.Е., Ердыбаева Н.К., Гриценко Б.П.</i> Методы изучения многослойных композитных покрытий ZrN/CrN/ZrCr/ZrN/CrN	2	175
<i>Салимбаева З.Н., Галкина Д.К.</i> Исследование влияния углеродных коллоидных частиц на цементные композиции	4	169
<i>Сапинов Р.В., Куленова Н.А., Саденова М.А., Суюндиков М.М.</i> Извлечение олова из электронных отходов с помощью гидрометаллургических методов	4	173
<i>Саттарова Г.С., Идришева Ж.К., Останин А.А.</i> Статистический анализ производственного травматизма на угольных шахтах Казахстана	4	178
<i>Саурбаева Б.С., Аубакирова Р.А., Иващенко Е.Н., Шаихова Б.К., Афанасенкова И.В.</i> Метрологическое обеспечение и анализ металлургической продукции УК МК ТОО «Казцинк» спектрофотометрическим методом	2	180
<i>Советбекова М.Б., Кабдрахимова Г.Д., Оралбай А.</i> Исследование сечения полной реакции новых нейтронов обогащенных ядер	1	196
<i>Сейтахметова Ж.М.</i> Результаты эксперимента по внедрению персонализированного обучения в школе на основе образовательных электронных платформ	3	144
<i>Табиева Е.Е., Рахадиллов Б.К., Уазырханова Г.К., Байжан Д.</i> Структура и механические свойства колесной стали до и после электролитно-плазменной поверхностной закалки	3	149
<i>Тоқсейит Д.Қ., Боранбаев С.А., Оралбекова Ж.О., Нуржанова А.Б.</i> Определения геоэлектрического разреза по георадарным данным	3	154
<i>Токтарбаева Г.М., Алпысбаев С.К., Рахадиллов Б.К., Сатбаева З.А., Жапарова М.С.</i> Влияние электролитно-плазменного упрочнения поверхности на структуру и свойства стали 40хн	1	200
<i>Тураров Ж.Т., Седелев В.А.</i> Разработка научных основ сбережения энергетических ресурсов ТОО «Усть-Каменогорская ТЭЦ»	1	205
<i>Устемирова Р.С., Аманова М.В., Каскатаев Ж.А.</i> Повышение тяговых свойств тепловозов	1	209
<i>Халин А.В., Махиев Б.Е.</i> Лаборатория надежности и долговечности строительных конструкций: история и перспективы	2	186
<i>Харинов В.Г., Гольцев А.Г., Чернавин В.Ю.</i> Разработка конструктивных параметров распорных креплений на основе экспериментальных исследований	1	211
<i>Хасенова З.Т., Тойбеков А.Т., Кусаинова А.Т.</i> Использование информационно-коммуникационных технологий для оценки уровня загрязнения воздуха в реальном времени	3	161
<i>Чернавин В.Ю., Харинов В.Г., Гольцев А.Г.</i> Исследование взаимодействия распорных креплений с несущими конструкциями из бетона	1	215
<i>Юров В.М., Гученко С.А., Лауринас В.Ч., Касымов С.С., Завацкая О.Н.</i> Получение и свойства многослойных покрытий Ti-Cu	1	218

ВОЕННОЕ ДЕЛО И БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Купенов М.Ж.</i> Современные боевые роботы	3	167
-----------------------------------------------	---	-----

МАЗМҰНЫ

ЖЕР ТУРАЛЫ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ
ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР

<i>Абдугалиева Г.Ю., Имангазин М.К., Оралбаев А.А.</i> Ақтөбе облысындағы «Ситал-2» ЖШС саз өндіретін карьердегі қауіпсіздікті сараптау	3
<i>Акылбаева А.Т., Мизерная М.А., Мирошникова А.П., Черненко З.И.</i> Шағын және орта алтын кен орындары – Шығыс Қазақстанның алтын минералдық-шикізат базасын дамытудың перспективалы бағыты	9
<i>Амралинова Б.Б., Акылбаева А.Т., Ага-лиева Б.Б., Фролова О.В., Матайбаева И.Е.</i> Бурабай массиві көлдерінің жер үсті суларының геохимиясы	14
<i>Апишкур Б., Ипалаков Т.Т., Капасов А.К., Алимкулов М.М.</i> Ақырғы элементтер әдісінің теориялық негіздері және жер төсемінің кернеулі-деформацияланған күйін есептеу алгоритмін әзірлеу	17
<i>Апишкур Б., Ипалаков Т.Т., Алимкулов М.М.</i> Теміржол үйінділерінің деформациялануы	22
<i>Буртыль Ю.В.</i> Қазақстан Республикасындағы георадиолокациялық зерттеу практикасы	26
<i>Кабдрахманов А.Е., Денисова О.К., Костыгова Л.А.</i> Шығыс Қазақстан облысының сумен жабдықтау саласының қазіргі жай-күйін және даму серпінін бағалау	33
<i>Карменова М.А., Тлебалдинова А.С., Смаилова С.С., Попова Г.В.</i> Сейсмикалық деректер үшін кеңістіктік кластерлеу әдісін қолдану	36
<i>Касымова Д.Б., Әділқанова М.Ә., Мамяченков С.В., Сизикова Н.В.</i> Мыстың жоғары құрамы бар алтын құрамды шикізатты қайта өңдеу кезінде алтын мен мысты селективті бөлу әдістері	40
<i>Сапаров Қ.Т., Женикбаева Н.Ж., Құдайбергенова Н.С.</i> География курсын оқытуда жанартылған білім беру бағдарламасы негізінде оқытудың жаңа технологияларын қолдану	47
<i>Сексенова Н., Исабай Ж.Қ., Достоева А.М., Арабаев Р.А.</i> «ЖГОК» АҚ қорғасын байыту фабрикасының өнеркәсіптік өнімінің байытылуына зерттеу	50
<i>Четтыкбаев Р.К., Денисова Н.Ф.</i> Шығыс Қазақстан облысы өзендеріндегі су тасқыны жағдайы мониторингінің ақпараттық-талдау жүйесін әзірлеу	54

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ
И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Абдугалиева Г.Ю., Имангазин М.К., Оралбаев А.А.</i> Анализ безопасности карьера ТОО «Ситал-2» по добыче глины Актюбинской области	3
<i>Акылбаева А.Т., Мизерная М.А., Мирошникова А.П., Черненко З.И.</i> Малые и средние золоторудные месторождения – перспективное направление развития минерально-сырьевой базы золота Восточного Казахстана	9
<i>Амралинова Б.Б., Акылбаева А.Т., Ага-лиева Б.Б., Фролова О.В., Матайбаева И.Е.</i> Геохимия поверхностных вод озер Бурабайского массива	14
<i>Апишкур Б., Ипалаков Т.Т., Капасов А.К., Алимкулов М.М.</i> Теоретические основы метода конечных элементов и разработка алгоритма расчета напряженно-деформированного состояния земляного полотна	17
<i>Апишкур Б., Ипалаков Т.Т., Алимкулов М.М.</i> Деформируемость железнодорожных насыпей	22
<i>Буртыль Ю.В.</i> Практика георадиолокационного исследования в Республике Казахстан	26
<i>Кабдрахманов А.Е., Денисова О.К., Костыгова Л.А.</i> Оценка современного состояния и динамики развития отрасли водоснабжения Восточно-Казахстанской области	33
<i>Карменова М.А., Тлебалдинова А.С., Смаилова С.С., Попова Г.В.</i> Применение метода пространственной кластеризации для сейсмических данных	36
<i>Касымова Д.Б., Әділқанова М.Ә., Мамяченков С.В., Сизикова Н.В.</i> Методы селективного разделения золота и меди при переработке золотосодержащего сырья с повышенным содержанием меди	40
<i>Сапаров Қ.Т., Женикбаева Н.Ж., Құдайбергенова Н.С.</i> Использование новых технологий обучения на основе обновленной образовательной программы при изучении курса географии	47
<i>Сексенова Н., Исабай Ж.Қ., Достоева А.М., Арабаев Р.А.</i> Исследование на обогащаемость промпродукта свинцовой обогащательной фабрики АО «ЖГОК»	50
<i>Четтыкбаев Р.К., Денисова Н.Ф.</i> Разработка информационно-аналитической системы мониторинга паводковой обстановки на реках ВКО	54

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР	ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ
<i>Ахмедиярова А.Т., Қуандыкова Д.Р., Касымова Д.Т., Қуандықов Б.Е., Мусабек Е.М.</i> Көлік желісін жобалау мен оңтайландыруға генетикалық көзқарас 60	<i>Ахмедиярова А.Т., Қуандыкова Д.Р., Касымова Д.Т., Қуандықов Б.Е., Мусабек Е.М.</i> Генетический подход к проектированию и оптимизации транспортной сети 60
<i>Баймолданова Л.С., Погребняк А.Д., Уазырханова Г.К., Ерболатова Г.У.</i> Микроқұрылымның, (TiAlSiY)N/CrN нанокомпозитті жабынның фазааралық шекараларының оның трибологиялық қасиеттеріне әсері 66	<i>Баймолданова Л.С., Погребняк А.Д., Уазырханова Г.К., Ерболатова Г.У.</i> Влияние микроструктуры, межфазных границ раздела нанокомпозитного покрытия (TiAlSiY)N/CrN на его трибологические свойства 66
<i>Бакиров А.Г., Жунусов А.К., Абдулина С.А., Ибраева Г.М.</i> Екібастұз көмірін пайдаланатын Ақсу ЖЭС-ның күл-қожалдықтарының алюмосиликатты микросфераларын зерттеу 72	<i>Бакиров А.Г., Жунусов А.К., Абдулина С.А., Ибраева Г.М.</i> Исследование алюмосиликатных микросфер из золошлаковых отходов Аксуской ГРЭС, использующих Екібастұзские угли 72
<i>Бакланов А.Е., Григорьева С.В., Сагынганова И.К.</i> Жылу желілерінің деректерін конвейерлік өңдеуді ұйымдастыруда систоалық массивтерді қолдану 77	<i>Бакланов А.Е., Григорьева С.В., Сагынганова И.К.</i> Использование систолических массивов при организации конвейерной обработки данных теплосетей 77
<i>Балтабеков А.Ш., Нугуманова А.Б.</i> Ұсыныс жүйелерін құру мысалында нейрондық желілер мен терең машиналық оқытудың болашағы 82	<i>Балтабеков А.Ш., Нугуманова А.Б.</i> Перспективы нейронных сетей и глубокого машинного обучения на примере создания рекомендательных систем 82
<i>Витюк В.А., Витюк Г.А.</i> Игр реакторында сынақтарды жүргізу кезінде модельдік ЖБҚ жылусейілткіш параметрлерін анықтауға арналған тәсілдер 86	<i>Витюк В.А., Витюк Г.А.</i> Подходы к определению параметров теплоотвода от модельных ТВС при проведении испытаний в реакторе игр 86
<i>Денисова Н.Ф., Қумаргажанова С.К., Смаилова С.С., Федькин Е.М.</i> Университеттің LMS сервистерінің аппараттық және бағдарламалық жасақтамасына қойылатын талаптар жиынтығын бағалау моделі 93	<i>Денисова Н.Ф., Қумаргажанова С.К., Смаилова С.С., Федькин Е.М.</i> Модель оценки набора требований к аппаратному и программному обеспечению сервисов LMS университета 93
<i>Дудкин М.В., Ким А.И., Мьюнцзак М., Дудкина Е.Л., Молдаханов Б.А., Аукенова Б.К.</i> Қазақстан Республикасы аумағында қар тазалағыш машиналарын пайдаланудың қар қорын ықтималды бағалау 100	<i>Дудкин М.В., Ким А.И., Мьюнцзак М., Дудкина Е.Л., Молдаханов Б.А., Аукенова Б.К.</i> Вероятностная оценка снежного фона эксплуатации снегоочистительных машин на территории Республики Казахстан 100
<i>Жакупова А.Е., Рамазанова Ж.М., Ерболатова Г.У., Амангелды Ж.А., Әбдірахман О.М.</i> Ғарыштық аппараттарды бағдарлау және тұрақтандыру жүйелерінің басқару қозғалтқыш-маховиктерінің қазіргі жағдайы және даму перспективалары 106	<i>Жакупова А.Е., Рамазанова Ж.М., Ерболатова Г.У., Амангелды Ж.А., Әбдірахман О.М.</i> Современное состояние и перспективы развития двигателей-маховиков управления систем ориентации и стабилизации космических аппаратов 106
<i>Капаева С.Д., Бичева А.Р., Бахыт А., Қулагин А.Г.</i> Дәнекерлеу әдісінің дәнекерленген қосылыстың беріктік сипаттамаларына әсерін зерттеу 111	<i>Капаева С.Д., Бичева А.Р., Бахыт А., Қулагин А.Г.</i> Исследование влияния способа сварки на прочностные характеристики сварного соединения 111
<i>Капский Д.В., Кот Е.Н., Богданович С.В., Рыбинский А.Г., Ибраев К.А.</i> Қазақстан Республикасының жолдарында темір жол өтпелерін орналастыру шарттары мен сипаттамаларын талдау 116	<i>Капский Д.В., Кот Е.Н., Богданович С.В., Рыбинский А.Г., Ибраев К.А.</i> Анализ условий размещения и характеристик железнодорожных переездов на дорогах Республики Казахстан 116
<i>Келаманов Б.С., Акуов А.М., Жумағалиев Е.У., Самуратов Е.К., Тұрғанбай Ж.Ә.</i> Fe-Mn-Si және Fe-Mn-C жүйелеріндегі	<i>Келаманов Б.С., Акуов А.М., Жумағалиев Е.У., Самуратов Е.К., Тұрғанбай Ж.Ә.</i> Моделирование и анализ термодинами-

термодинамикалық процестерді модельдеу және талдау	121	ческих процессов в системах Fe-Mn-Si и Fe-Mn-C	121
Курмангалиев Т.Б., Кабдуллина Д.С. Жоғары жылдамдықты балқымаларды бұрқу арқылы алынған тот баспайтын және ыстыққа төзімді қорытпалар ұнтақтарының құрылымы мен қасиеттері	126	Курмангалиев Т.Б., Кабдуллина Д.С. Структура и свойства порошков нержавеющей и жаропрочных сплавов, полученных высокоскоростным распылением расплавов	126
Курманов А.К., Камышева Н.А. Соққы-центрифугалық типтегі ұсақтағыштағы астықты ұсақтау процесінің математикалық моделі	131	Курманов А.К., Камышева Н.А. Математическая модель процесса дробления зерна в измельчителе ударно-центробежного типа	131
Мырзабекова Д.М., Муздыбаев М.С., Муздыбаева А.С. Топсалы-біріктірілген рамасы бар жерасты тиегіштердің топсалы түйіндерінің жұмыс істеу қабілетін қамтамасыз ету	136	Мырзабекова Д.М., Муздыбаев М.С., Муздыбаева А.С. Обеспечение работоспособности шарнирных узлов подземных погрузчиков с шарнирно-сочлененной рамой	136
Рахметулаева С.Б., Хасен Е. Онлайн-білім беру нарығының ақпараттық технологиялар көмегімен сапасын жақсарту мақсатында талдау	140	Рахметулаева С.Б., Хасен Е. Анализ рынка онлайн-образования с целью улучшения качества с помощью информационных технологий	140
Рахметуллина С.Ж., Бакланова О.Е., Бугубаева А.Ж., Дмитриева Т.С. Өскемен қаласының үлкен өнеркәсіптік кәсіпорындарының шығарындылары қауіпмен байланысты қоршаған ортаны қорғау қаупін есептеу	144	Рахметуллина С.Ж., Бакланова О.Е., Бугубаева А.Ж., Дмитриева Т.С. Расчет экологической опасности, связанной с риском выбросов крупных промышленных предприятий города Усть-Каменогорска	144
Рахметуллина Ж.Т., Мукашева Р.У., Мухамедова Р.О., Увалиева И.М., Сулейменов Н.А. Радиациялық қыздыру кезіндегі реакторда энергия бөлінуінің математикалық және компьютерлік моделдері	148	Рахметуллина Ж.Т., Мукашева Р.У., Мухамедова Р.О., Увалиева И.М., Сулейменов Н.А. Математическая и компьютерная модели процесса энерговыделения при радиационном разогреве реактора	148
Русакова А.В., Машенцева А.А., Даумова Г.К. Жылдамдатылған электрондардың әсерінен функционалдық мономерлермен тректі мембраналардың ПЭТФ бетінің модификациясы	153	Русакова А.В., Машенцева А.А., Даумова Г.К. Модификация поверхности ПЭТФ трековых мембран функциональными мономерами под воздействием ускоренных электронов	153
Сабитова А.Т., Бакланова О.Е. Ақпараттық қауіпсіздік тәуекелдерін бағалау	158	Сабитова А.Т., Бакланова О.Е. Оценка рисков информационной безопасности	158
Сагидұғұмар А.Н., Тұрлыбекұлы А., Погребняк А.Д. Натрий гидроксипатиті-альгинаты негізінде биокомпозиттік материал компоненттерінің өзара әрекеттесуін зерттеу	164	Сагидұғұмар А.Н., Тұрлыбекұлы А., Погребняк А.Д. Исследование взаимодействия компонентов биокompозитного материала на основе гидроксипатит-альгинат натрия легированного ионами серебра	164
Салимбаева З.Н., Галкина Д.К. Көміртектегі коллоидты бөлшектердің цемент композицияларына әсерін зерттеу	169	Салимбаева З.Н., Галкина Д.К. Исследование влияния углеродных коллоидных частиц на цементные композиции	169
Сапинов Р.В., Куленова Н.А., Саденова М.А., Суюндиков М.М. Гидрометаллургиялық әдістер арқылы электронды қалдықтардан қалайы алу	173	Сапинов Р.В., Куленова Н.А., Саденова М.А., Суюндиков М.М. Извлечение олова из электронных отходов с помощью гидрометаллургических методов	173
Саттарова Г.С., Идришева Ж.К., Останин А.А. Қазақстанның көмір шахталарындағы өндірістік жарақаттануды статистикалық талдау	178	Саттарова Г.С., Идришева Ж.К., Останин А.А. Статистический анализ производственного травматизма на угольных шахтах Казахстана	178

**Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің
ХАБАРШЫСЫ**

Ғылыми журнал
1998 жылы шыға бастады.
Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық келісім министрлігінде тіркеліп,
1998 ж. 27 ақпанында № 145-ж куәлігі берілген.



ВЕСТНИК

Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева

Научный журнал
Издается с 1998 г.
Зарегистрирован Министерством информации и общественного согласия
Республики Казахстан. Свидетельство № 145-ж от 27 февраля 1998 г.

Редакторлар – Редакторы
О.Н. Николаенко, С.С. Мамыраздыкова
Корректорлар – Корректоры
О.Н. Николаенко, С.С. Мамыраздыкова
Руководитель издательства О.Н. Николаенко

Материалдарды компьютерде терген
және беттеген



Набор, верстка,
изготовление оригинал-макета
С.С. Мамыраздыкова

Басуға 31 желтоқсан 2020 ж. қол қойылды.
Форматы 84×108/16. Офсет қағазы.
Көлемі: шартты баспа табағы 20,16, есептік баспа табағы 19,98.
Таралымы 350 дана. № 2530-2020 тапсырыс.
Бағасы келісім бойынша.



Подписано в печать 31 декабря 2020 г.
Формат 84×108/16. Бумага офсетная.
Объем: усл. печ. л. 20,16, уч.-изд. л. 19,98.
Тираж 350 экз. Заказ № 2530-2020.
Цена договорная.

Шығыс Қазақстан техникалық университеті
070004, Өскемен қаласы, Протозанов көшесі, 69

Восточно-Казахстанский технический университет
070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69