



Д. Серікбаев  
атындағы  
Шығыс Қазақстан  
мемлекеттік техникалық  
университетінің

## **ХАБАРШЫСЫ**



## **ВЕСТНИК**

Восточно-Казахстанского  
государственного технического  
университета  
имени  
Д. Серикбаева

2

Регистрационный № 145-ж

№ 2 (84), май, 2019

Основан в 1998 году

Выходит 4 раза в год

## Фылыми журнал

Д. Серікбаев атындағы  
Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық  
университетінің

# ХАБАРШЫСЫ



## ВЕСТНИК

Восточно-Казахстанского государственного  
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:**

А.К. Адрышев, д-р техн. н., проф.,  
А.Н. Алексеенко, д-р ист. н., проф.,  
Д.Л. Алонцева, канд. физ.-мат. наук, проф.,  
Ю.В. Баталов, д-р экон.н., проф.,  
Ю.А. Веригин, д-р техн. н., проф.,  
Б.А. Дьячков, д-р геол.-мин. н., проф.,  
М.В. Дудкин, д-р техн. наук, проф.,  
А.В. Егорина, д-р геогр. наук, проф.,  
С.А. Жуманазар, канд. экон. наук, доц.,  
Т.Т. Ипалаков, д-р техн. н., проф.,  
А.И. Квасов, д-р техн. н., проф.,  
Е.А. Колос, д-р экон. наук, доц.,  
В.П. Колпакова, д-р техн. наук, доц.,  
Ж.О. Кульсейтов, д-р техн. н., проф.,  
Н.П. Малышев, канд. экон. н., проф.,  
О.А. Манцуров, полковник,  
Ж.Д. Назбиев, д-р. филол. н., проф.,  
С.В. Плотников, д-р физ.-мат. н., проф.,  
А.Д. Погребняк, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
М.К. Скаков, д-р физ.-мат. н., проф.,  
Б.В. Сырнев, д-р техн. н., проф.,  
А.К. Томилин, д-р физ.-мат. н., проф.,  
Е.М. Турганбаев, канд. физ.-мат. н., Dr. PhD.,  
С.Д. Тыныбекова, д-р пед. н., проф.  
Н.Г. Хисамиев, д-р физ.-мат. н., проф.,  
В.Ю. Чернавин, канд. техн. н, проф.,  
Ю.Н. Шапошник, д-р техн. н., проф.



МРНТИ 553.41

**А.Т. Акылбаева, М.А. Мизерная, А.И. Мизерный, Ж.З. Капжапарова**

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

**А.П. Мирошникова**

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

**КВАРЦЕВО-ЖИЛЬНЫЕ ЗОЛОТОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНО-КАЛБИНСКОЙ ЗОНЫ  
(ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН) - ПЕРСПЕКТИВЫ ВОСПОЛНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ**

*Спрос и производство золота в мире ежегодно растет. Золотые месторождения Казахстана представлены как в виде собственно золоторудных, так и комплексных золото-полиметаллических, медно-колчеданных порфировых и пр. месторождений. Наряду с крупными объектами, отмечается наличие большого количества законсервированных и признанных нерентабельными в разные годы золото-кварцево-жильных объектов, многие из которых отработаны лишь частично. Переоценка и доизучение этих месторождений являются важным фактором прироста запасов золота.*

*Әлемдегі алтынға сұраныс пен өндіріс жыл сайын өсіп келеді. Қазақстанның алтын кен орындары алтын кені, соңдай-ақ кешенді алтын-полиметалл, мыс-колчедан порфир және т.б. кен орындары түрінде ұсынылған. Ірі объектілермен қатар, әртүрлі жылдары консервіленген және рентабельді емес дег танылған алтын-кварц-талшықты объектілердің көп саны байқалады, олардың көпшілігі ішінәра ғана пайдаланылған. Бұл кен орындарын қайта бағалау және жете зерттеу алтын қоры өсімінің маңызды факторы болып табылады.*

*The demand and production of gold in the world is growing every year. The gold deposits of Kazakhstan are represented both in the form of gold and complex gold-polymetallic, copper-pyrite porphyry, and other types of deposits. Along with large objects, there are a large number of gold-quartz-vein objects mothballed and recognized unprofitable in different years, many of which have been worked out only partially. Revaluation and additional study of these deposits are an important factor in the increase in gold reserves.*

За последние 15 лет наметилась четкая тенденция к увеличению мирового спроса и производства золота. И хотя мировая золото-сырьевая база характеризуется обилием различных типов месторождений, развитие золотодобычи, начиная с 90-х годов, было замедлено вследствие исчерпания наиболее богатых и благоприятных месторождений, снижения качества золотосодержащего сырья и усиления отрицательного воздействия на окружающую среду. Золотое оруднение Восточного Казахстана представлено как в виде комплексных медно-полиметаллических, так и собственно золото-рудных месторождений, расположенных преимущественно в Западной Калбе, Чингиз-Тарбагатае и на Южном Алтае. Значительное количество месторождений относится к кварцево-жильному типу (Акжал, Казан-Чункур, Джумба, Сенташ, Кулуджун, Лайлы и др.) [1].

Следует отметить значительного количества законсервированных и признанных нерентабельными кварцево-жильными месторождений в Западно-Калбинском регионе, которые были отработаны в разные годы преимущественно только до уровня грунтовых вод. В подобных месторождениях размеры жил по простиранию составляют первые сотни метров, большинство жил имеет мощности порядка 50-60 см, распределение золота в жилах неравномерное, чаще гнездовое или столбовое. Переоценка и доизучение этих месторождений являются важным фактором прироста запасов золота.

Западно-Калбинская структурно-формационная зона - главная золотоносная структура Восточного Казахстана, в которой известно более 450 месторождений и рудопроявлений золота, в том числе крупных и сверхкрупных. Основные золоторудные месторождения сформировались в коллизионную стадию развития Зайсанской сутурной зоны, объединяются в четыре рудных района: Мукурский рудный (месторождения Жерек, Восточный Семейтау, Центральный Мукур, Тас-Кудук, Восточный Мукур); Бакырчикский рудный район, в его пределах известно более 140 месторождений и проявлений золота, в том числе крупнейшие в Восточном Казахстане месторождения золото-мышьяково-углеродистой формации (Бакырчик, Большевик, Глубокий Лог и др.); Кулуджунский рудный район, в котором зарегистрировано более 80 месторождений и проявлений золота преимущественно кварцево-жильного типа (жильные поля Кулуджун, Джумба, Сенташ, Теректы, Кучеко, Лайлы и др.); Баладжальский рудный район (месторождение Баладжал, Мариновское) [2, 3].

В данной статье подробно раскрыты особенности геологического строения, структурно-тектонические особенности золотого оруденения и минерализации месторождения Джумба. Начало золотодобычи в пределах месторождения относится к середине XIX столетия. Продолжались эксплуатационные работы с перерывами до 1956 года, после чего месторождение было законсервировано и находится на консервации до настоящего времени.

Месторождение объединяет две группы золотоносных кварцевых жил: Федор-Ивановскую и Параллельную. В состав Федор-Ивановской группы жил входит 7 наиболее крупных кварцевых жил: Федор-Ивановская, Горелая, Нижняя (Промежуточная), Старо-Параллельная, Джумбинская, Занинская, Старательская. Группа жил Параллельных объединяет в своем составе до 10 сравнительно крупных кварцевых жил: Параллельная, Новая, Красная, Промежуточная, Егеньевская, Актас, жила № 28, Параллельная 1 и 2, Южные.

В геологическом строении участка принимают участие каменноугольные отложения намюрского яруса и кайнозойские образования. Отложения намюрского яруса пользуются широким распространением, составляя около 90 % исследуемой территории, и представлены туфопесчаниками, песчаниками, алевролитами, углисто-глинистыми и глинистыми сланцами. Рудовмещающий разрез, вскрытый штольней, характеризуется частым чередованием полимиктовых песчаников с углисто-глинистыми алевролитами. При этом наблюдается как тонкая перемежаемость слойков, измеряемая первыми сантиметрами, так и более крупных слоев, измеряемых первыми метрами и даже первыми десятками метров по мощности. Смена пород по простирианию часто характеризуется тупым выклиниванием как песчаников, так и алевролитов. Границы их перехода, как правило, извилистые и имеют иногда весьма причудливую форму. Залегание пород преимущественно крутное (70-90°), но в отдельных блоках меняется до горизонтального [4].

**Магматизм.** Участок Джумба расположен на значительном удалении от крупных массивов гранитоидов Калбы (рис. 1). Выходы ближайшей Тас-Тауской интрузии находятся в 22 км западнее участка. На глубине 800-1500 м Борзовым В.Д., по данным интерпретации гравитационной съемки, выделяется слепая интрузия умеренно-кислого состава. Интрузия располагается на юго-восточном окончании Западно-Калбинского интрузивного пояса, со становлением которого связывается золотое оруденение региона. Непосредственно на изучаемой территории на современном эрозионном срезе картируется лишь несколько даек лампрофирового ряда в районе месторождения Джумба и дайкообразные и силяообразные тела диабазов и диабазовых порфиритов северо-западнее месторождения (участок Бригадный и Свистун) [5].

Основное количество рудных тел развито в центральной части участка в непосредственной близости от ранее отрабатываемого месторождения Джумба. Эта часть изучена наиболее детально. Здесь пройдены канавы, глубокие шурфы с рассечками, пробурены 4 скважины, пройдена штольня. В результате центральная часть рудной зоны прослежена по простиранию на 1000 м и по мощности на 600 м. Плотность канав на этом участке достигает 50-100 м, иногда 20 м.

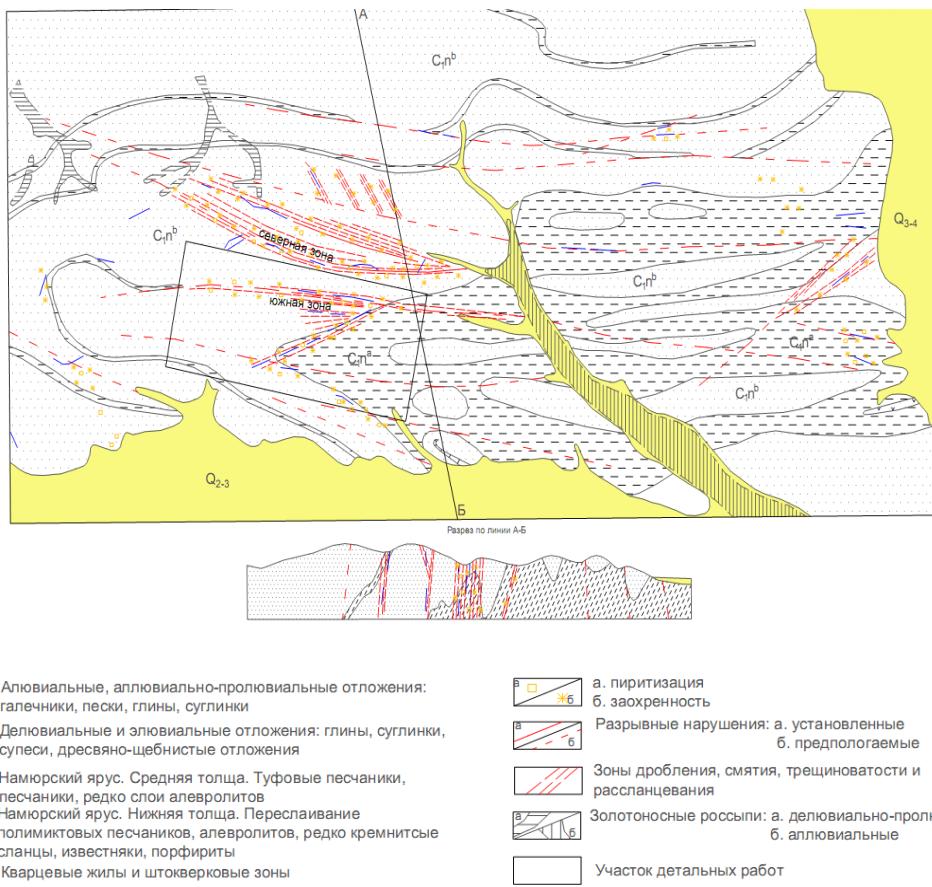


Рисунок 1—Схема геологического строения месторождения Джумба

Юго-западнее на расстоянии 600 м от описываемой группы рудных тел развито пять пространственно сближенных рудных тел № 22-26, вскрытых тремя канавами (№ 2, 51, 91), удаленными друг от друга на расстоянии 100-200 м и двумя расчистками (№ 2, 2А).

Форма рудных тел лento-, жилообразная. Размеры их колеблются от первых десятков метров до первых сотен метров по простиранию при средней мощности 1-2 м, реже 6,5-6,7 м. На глубину рудные тела практически не изучены, за исключением разреза I-I, где рудные тела прослежены по падению на глубину 250 м. Падение рудных тел 60-75° на северо-восток.

Наиболее крупными из них являются рудные тела № 1, 2, 3, 5, 11, 13, 21, 25. Наиболее детально изучены рудные тела № 1, 2, 3, 5, 13, 25. В большинстве своем рудные тела представляют собой сочетание кварцевых и прожилков, зон брекчирования и метасоматического прокварцевания и сульфидизации пород. Внутреннее строение тел сложное и

характеризуется крайне неравномерным характером распределения золота.

По вещественному составу на месторождении Джумба выделяется три типа (формации) золотого оруденения:

- 1) золото-кварцевая формация;
- 2) золото-кварц-сульфидная
- 3) золото-сульфидная.

Золото-кварцевая формация (количество сульфидов не превышает 5 %) характеризуется крайне неравномерным распределением золота, находящегося обычно в свободном состоянии. Форма концентрации - столбы, гнезда, кустообразные скопления. Гидротермально-метасоматические изменения выражены слабо. Представителем этого типа является рудное тело № 13.

Золото-кварц-сульфидная формация (количество сульфидов до 20 %) характеризуется весьма неравномерным распределением золота, находящегося как в свободном, так и в дисперсном, связанном с сульфидами, состоянии. Представителями этой формации являются большинство рудных тел месторождения.

Золото-сульфидная формация, в составе которой главную роль играют пирит и арсенопирит. Золото находится как в свободном, так и в дисперсном состоянии. Вмещающими являются гидротермально-измененные породы, пронизанные тонкими прожилками кварца. Представителем этой формации является рудное тело № 1.

Главным жильным минералом является кварц молочно-белого цвета, который в результате сильного давления приобрел пластинчатую текстуру. Кальцит и анкерит в жиле встречается в небольших количествах в виде включений и прожилков в кварце. Серицит наблюдается в виде мелких чешуек заполняя трещинки в кварце.

Из рудных минералов в жиле встречается золото, пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит, антимонит, блеклая руда, очень редко марказит, сидерит, лимонит. Распределение элементов в различных типах вмещающих пород месторождения представлено в таблице.

Золото представлено чешуйками, листочками, зернами неправильной формы, а также наблюдается в виде ветвящихся дендритовидных образований. Максимальный размер отдельных зерен 0,75-0,5 мм. Под микроскопом часты размеры 0,05-0,1 мм. Поверхность золотинок сильно шероховатая, ямчатая.

По цвету различаются два вида золота: червонно-желтое до оранжевого оттенка и светло-желтое, по-видимому, сильно серебристое. Обе разновидности часто образуют сростки. Более крупные листочки золота обволакивают кристаллы арсенопирита и пирита. Мелкие золотинки 0,1-0,65 мм обычно находятся в тесной ассоциации с халькопиритом и сфалеритом, часто приурочены к трещинкам и парам в пирите [6]. Золото изредка встречается включенным в галените. Парагенетические соотношения позволяют считать выпадение золота близко одновременным с халькопиритом и сфалеритом. Спектральный анализ золота указывает на значительное присутствие в нем серебра, немного железа.

*Сфалерит, халькопирит, галенит* встречаются редко вкрапленными в кварц в незначительных количествах. Обычно ассоциируют с золотом. В боковых породах встречаются вкрапленники 0,1-0,01мм только в кварцевых прожилках или в пирите. Максимальный размер вклюений в руде не превышает 0,5-1 см.

*Блеклая руда* обнаруживается только под микроскопом в виде вклюений 0,5-1 мм.

*Пирит, арсенопирит* в главной своей массе образуют вкрапленность призальбандовой части вмещающих пород. В сумме они составляют от 1 до 10-15 % площади шлифа. Форма проявления - чаще правильно ограненные кристаллы. Преобладающий размер зерен 0,3-0,5 до 1 мм. Пирит по количеству преобладает над арсенопиритом.

*Средние содержания элементов в рудных телах месторождения Джумба, в ppm*

Минерал	Cu	Zn	Ag	Sb	Au	Pb
Брекчия кремнистая	279,00	124,60	0,91	4,61	0,195	12,27
Брекчия	107,70	141,90	1,30	4,71	0,202	11,18
Кварц обожренный	148,40	159,10	0,31	0,50	0,321	4,58
Кварц обожренный	125,60	328,90	0,61	1,02	0,214	5,10
Кварц обожренный	78,38	349,90	0,35	0,63	0,107	4,64
Кварц	159,10	247,50	6,51	3,20	0,312	11,46
Кварц с гнездами лимонита	196,90	3185,00	0,36	1,83	0,053	4,21
Кварц с гнездами лимонита	61,43	184,20	0,22	1,07	0,107	4,19
Кварцевый порфир с пиритом	60,11	148,60	0,63	1,27	0,128	3,75
Кварцевый порфир с пиритом	173,20	165,90	0,62	0,57	0,107	7,71
Алевролит с сыпью пирита	100,10	88,88	0,60	1,02	0,242	6,15
Алевролит с пиритом	127,00	159,60	0,47	0,72	0,321	5,94
Окварцованный породы с пиритом	149,60	109,90	1,12	5,00	2,224	20,30
Кварц с сульфидами	169,50	168,70	2,38	4,63	0,414	16,57

*Марказит* встречается редко в виде включений и прожилков в околожильной породе. Замещается лимонитом.

*Сидерит* встречается тоже редко, образуя в белом кварце включения 5-6 мм размером красновато-бурового цвета. Лимонит в нем развивается в виде тонких перегородок, образуя ячеистую структуру. Месторождение эксплуатируется в настоящее время.

Учитывая крайнюю неравномерность изученности региона на золоторудные кварцево-жильные объекты, работы по обобщению и анализу фактического материала, с учетом новых металлогенических представлений свидетельствуют о больших перспективах и невостребованных резервах Восточного Казахстана на выявление традиционных и новых типов месторождений золота. Наиболее перспективные площади - это древние толщи Иртышской зоны смятия, карбонатсодержащие породы Калбы и Южного Алтая, зоны мезозойской активизации, альпийских депрессионных структур, линейные коры выветривания и участки погребенной гидросети.

## Список литературы

1. MS Rafailovich, MA Mizernaya, BA Dyachkov Large Gold Deposits Hosted in Black Shales: Formation Conditions and Features of Similarity. Almaty 2011, 272 p.
2. Дьячков Б.А. Рудные пояса Большого Алтая и оценка их перспектив / Б.А. Дьячков, Д.В. Титов, Е.М. Сапаргалиев // Геология рудных месторождений. – 2009. – Т. 51. - № 3. - С. 222-238.
1. Дьячков Б.А. Геологические условия формирования и размещения золоторудных месторождений апокарбонатного типа Восточного Казахстана / Б.А. Дьячков, З.И. Черненко, Н.П. Майорова и др. - Усть-Каменогорск, ВКГТУ, 2011. - 136 с.
3. Дьячков Б.А. Геодинамические обстановки формирования рудоносных структур Большого Алтая / Б.А. Дьячков, Г.Д. Ганженко, Е.М. Сапаргалиев. – Алматы, КазГео, 2016. – С. 9-21.

4. Dolgopolova, R. Seltmann, A. Miroshnikova, A. Mizernaya, M Mineralogical and Geochemical Characteristics of the Vasilkovskoye Gold Deposit (North Kazakhstan) 13 th SGA Biennial Meeting on Mineral resources in a sustainable world, 1–5, pp. 77–80., 2015
5. A.I. Mizerny, A.P. Miroshnicova, M.A. Mizernaya, B.A. Dyachkov Geologocal and structural features, magmatic and mineralization of Sekysivske and Vasylkivske stockwork gold deposits (Kazakhstan) Scientific BULLETIN of National mining University, ISSN 2071-2227, 2017, p. 5-14.

Получено 17.04.2019

---

УДК 622.273.2

**А.И. Ананин**

Научный центр комплексной переработки минерального сырья Республики Казахстан ВНИИцветмет, г. Усть-Каменогорск

**Г.Т. Нуршайыкова, З.Ж. Абдрашева**

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

**СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ РУДЫ ПРИ КАМЕРНО-СТОЛБОВОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ ПУТЕМ ОТРАБОТКИ ЦЕЛИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА**

*В статье рассматривается технология снижения потерь руды при камерно-столбовой системе разработки путем отработки целиков различного назначения с предварительным заполнением отработанных камер закладочным материалом.*

*Мақалада қазыл алынған камераларды толтырма материалдарымен алдын ала толтыру арқылы әртүрлі мақсаттағы кентректерді қазымдау жолымен камералы-діңгекті қазымдау жүйесіндегі көнді жоғалтуды азайту технологиясы талқыланады.*

*The article discusses the technology of reducing ore losses in a chamber-and-pillar development system by working out various-purpose pillars with preliminary filling of spent chambers with backfill material.*

Разработана технология снижения потерь руды при камерно-столбовой системе разработки путем отработки целиков различного назначения с предварительным заполнением отработанных камер закладочным материалом.

Горно-геологические условия отработки пологих и наклонных рудных тел различной мощности наиболее благоприятны для применения камерно-столбовой системы разработки. Однако эта простая и эффективная для средней и ниже средней ценности руд система разработки, не имеющая на сегодняшний день альтернативы и позволяющая применять высокопроизводительное самоходное оборудование имеет существенные недостатки, которые заключаются в высоких потерях руды в целиках различного назначения, поддерживающих выработанное пространство и предохраняющих налегающую толщу пород от сдвижения.

Конструкция камерно-столбовой системы разработки для отработки рудных тел с углом падения от 0° до 8° с мощностью от 4,0 до 15,0 м приведена на рис. 1.

Управление горным давлением осуществляется междукамерными и барьерными рудными целиками. Основные параметры системы разработки:

- столбчатые квадратные целики 5,5×5,5 м;
- пролет камер – 10 м;
- барьерный целик длиной 78 м и шириной 21 м.

Геологические запасы руды в панели 185 (длина)×78 (ширина)×10 (мощность)×2,82

(плотность) = 406926 т. Потери запасов руды в барьерном целике 39509 т (длина 78 м, ширина 21 м, высота 10 м за вычетом объемов пройденных выработок в нем). Потери руды в 50 целиках-столбах прямоугольного сечения (5,5×5,5) м - 42653 т.

В целом по системе первичные (конструктивные) потери и разубоживание руды составляют соответственно 20,6 и 9,4 %.

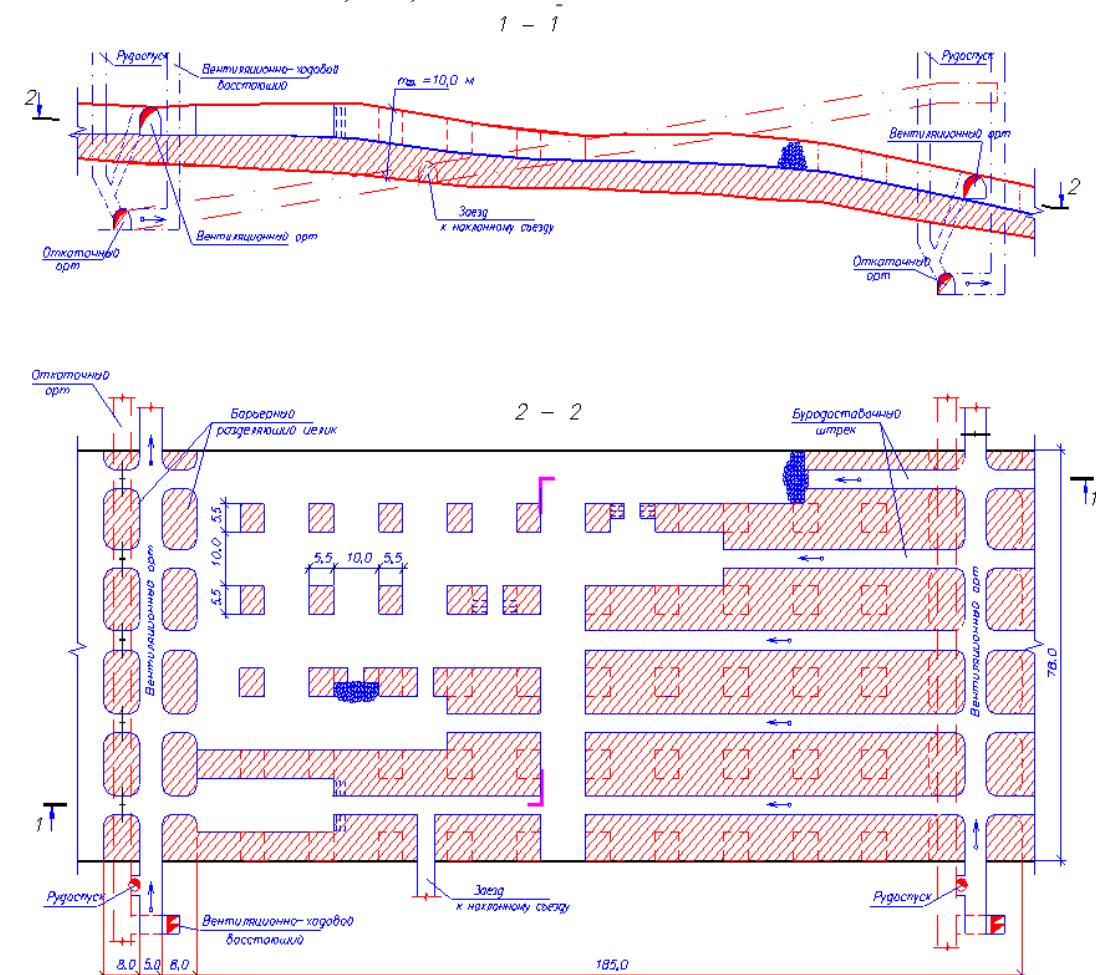


Рисунок 1 – Камерно-столбовая система разработки при углах падения от 0 до 8°

Таким образом стоит вопрос о снижении потерь руды путем отработки рудных целиков с заменой их искусственными. При этом закладка выработанного пространства обеспечит:

- наиболее полное извлечение полезного ископаемого;
- уменьшение оседания земной поверхности;
- сохранение для последующей выемки вышележащих рудных тел;
- управление горным давлением при очистной добыче;
- возможность подработки охраняемых объектов;
- возможность отработки междукамерных, барьерных, междублочных и ленточных целиков.

Рассчитаем потери и разубоживание руды при отработке барьерных целиков.

Отработку барьерного целика начинают после отработки и закладки, например глубоко сгущенными хвостами двух смежных панелей или блоков. При этом желательно, чтобы заезды и вентиляционные орты не были заложены закладкой (перемычки устанавливаются у очистного пространства).

При отработке барьерного целика пролет между рядами столбчатых целиков превысит устойчивый пролет камеры. Поэтому отработку барьерного целика надо вести в отступающем порядке все время, находясь под защитой неотработанной части целика. Заезд в очистное пространство можно производить только на ПДМ с ДУ.

Внезапного обрушения кровли на большом пролете опасаться не нужно, так как выработанное пространство практически на всю высоту заложено.

Расчет потерь и разубоживания руды выполнен в соответствии с "Отраслевой инструкцией по определению, нормированию и учету потерь и разубоживания..." [1].

Глубоко сгущенные хвосты с течением времени консолидируются и наберут прочность до 1 МПа. Массив с такой прочностью предполагает обнажение его высотой до 6 м.

Исходные данные для расчета:

$m = 6$  м – мощность рудного тела;

$L_{ц} = 78$  м – длина барьерного целика;

$B_{ц} = 21$  м – ширина барьерного целика;

$H_{оц} = 6$  м – высота отдельного целика;

$L_{оц} = 8$  м – длина отдельного целика;

$L_{оцн} = 8$  м – длина отдельного целика по падению;

$B_{оц} = 5$  м – ширина отдельного целика;

$\alpha = 4^0$  – средний угол падения рудного тела;

$B_{ср} = 0,1$  м – ширина зоны контактной неопределенности (руды-порода);

$t = 1,5$  – критерий достоверности (87÷90 %);

$X = 0,15$  м – расстояние от границы зоны контакта с рудой до линии оптимального оконтурирования целика;

$t^0 = 0,01 \div 0,03$  м – зона контактной неопределенности "руды-закладка";

$t^3 = 0,10 \div 0,30$  м – зона контактной неопределенности "закладка-руды";

$\gamma_p = 2,82 \text{ т/м}^3$  – плотность руды в массиве;

$\gamma_{п} = 2,7 \text{ т/м}^3$  – плотность породы;

$\gamma_z = 1,6 \text{ т/м}^3$  – плотность закладки;

$N = 10$  шт. – количество отдельных целиков;

$S_b = 15 \text{ м}^2$  - сечение выработок в целике (вентиляционный орт и заезды с него в панель);

$L_z = 8$  м - длина заезда;

$n = 10$  шт. – количество заездов;

$L_b = L_{ц} = 78$  м – длина вентиляционного орта.

Запасы руды в барьерном целике:

$$Q_{ц} = m \times L_{ц} \times B_{ц} \times \gamma_p = 6 \times 78 \times 21 \times 2,82 = 27700 \text{ т.}$$

Извлеченные запасы руды из целика при проходке вентиляционного орта и заездов с него в панель:

$$Q_b = L_b \times S_b \times \gamma_p + L_z \times S_b \times \gamma_p \times n = 78 \times 15 \times 2,82 + 8 \times 15 \times 2,82 \times 10 = 6683 \text{ т.}$$

Отрабатываемые запасы руды из целика:

$$Q_{оц} = Q_{ц} - Q_b = 27700 - 6683 = 21000 \text{ т.}$$

*Источники потерь руды*

Потери руды на контакте с вмещающими породами почвы и кровли.

Площадь ( $S_n$ ) теряющей руды:

$$S_n = \frac{L(2 \cdot t \cdot B_{cp} - X)^2}{4 \cdot t \cdot B_{cp}} = \frac{8(2 \cdot 0,1 \cdot 1,5 - 0,15)^2}{4 \cdot 1,5 \cdot 0,1} = \frac{0,18}{0,6} = 0,3 \text{ м}^2.$$

Количество теряющей руды во всех 10 оставшихся целиках составляет

$$Q_p = S_n \times B_{oц} \times \gamma_p \times 2 \times N = 0,3 \times 5 \times 2,82 \times 2 \times 10 = 84,6 \text{ т.}$$

В процентах к отрабатываемым запасам руды из целика:

$$\Pi_1 = Q_p \times 100 / Q_{oц} = 84,6 \times 100 / 21000 = 0,4 \text{ %.}$$

Потери от непроработки в углах при отработке отдельных целиков.

При угле падения залежи  $0 \div 8^\circ$  при отработке целиков этих потерь не будет.

$$\Pi_2 = 0.$$

Потери не отбитой руды на контакте с закладкой.

Практика рудников, применяемых нисходящую слоевую систему разработки с твердеющей закладкой, при обнажении закладки на высоту до 6 м по достижению прочности  $0,75 \div 1,0$  МПа показывает, что этот вид потерь руды не превышает 0,5 %. Аналогично принимаем для отработки целиков, расположенных в закладке.

$$\Pi_3 = 0,5 \text{ %.}$$

Потери отбитой руды на почве (в "плинтусах").

Плинтус образуется из-за того, что ПДМ не подбирает у борта отбитую руду и поэтому он будет располагаться только у почвы выработки по контакту с закладкой высотой 0,5 м и шириной 0,5 м.

Площадь сечения "плинтуса":

$$S_{пл} = 0,5 \times 0,5 \times 0,5 = 0,125 \text{ м}^2.$$

Общая длина "плинтуса" равна длине целика  $L_{ц} = 78$  м. Доля чистой руды в общем объеме горной массы "плинтусов" не превышает 60-70 %.

Количество теряющей руды в двух "плинтусах":

$$Q_{пл} = S_{пл} \times L_{ц} \times 0,7 \times \gamma_p \times 2 / K_p = 0,125 \times 78 \times 0,7 \times 2,82 \times 2 / 1,5 = 25,6 \text{ т,}$$

где 0,7 – коэффициент, учитывающий долю чистой руды в объеме теряющей руды;  $K_p = 1,5$  – коэффициент разрыхления руды.

В процентах к отрабатываемым запасам руды из целика

$$\Pi_4 = Q_{пл} \times 100 / Q_{oц} = 25,6 \times 100 / 21000 = 0,12 \text{ %.}$$

Потери отбитой руды на контакте "руды-бетон"

$$Q_p = L_{oц} \times H_{oц} \times t^\circ \times n \times \gamma_p / K_p = 8 \times 6 \times 0,02 \times 10 \times 2,82 / 1,5 = 18,1 \text{ т,}$$

где  $L_{oц} = 8$  м – длина отдельного целика;  $H_{oц} = 6$  м – высота отдельного целика;  $n = 10$  шт. – количество отдельных целиков;  $t^\circ = 0,01 \div 0,03$  м = 0,02 – зона контактной неопределенности "руды-закладка".

В процентах к отрабатываемым запасам руды из целика

$$\Pi_5 = Q_{пл} \times 100 / Q_{oц} = 18,1 \times 100 / 21000 = 0,09 \text{ %.}$$

Потери отбитой руды, оставленной на почве выработки

При отбойке целика часть руды будет отбрасываться на 10 и более метров. Для подчистки почвы выработки без захода людей в очистное пространство будут применяться ПДМ с дистанционным управлением (ПДМ с ДУ). Из-за дистанционного управления ПДМ (плохая видимость) и неровностей почвы остается слой отбитой руды ( $I_p$ ) толщиной до 0,1 м.

Потери руды на почве выработки составят:

$$Q_p = L_{ц} \times B_{ц} \times I_p \times \gamma_p \times 0,7 / K_p = 78 \times 21 \times 0,1 \times 2,82 \times 0,7 / 1,5 = 216 \text{ т.}$$

В процентах к отрабатываемым запасам руды из целика:

$$\Pi_6 = Q_p \times 100 / Q_{oц} = 216 \times 100 / 21000 = 1,0 \%$$

Общие потери руды по барьерному целику составят:

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5 + \Pi_6 = 0,4 + 0 + 0,5 + 0,06 + 0,09 + 1,0 = 2,0 \%$$

Запасы, извлекаемые в товарную руду:

$$Q_{из} = Q_{oц} \times (1 - \Pi / 100) = 21000 \times (1 - 2,0 / 100) = 20580 \text{ т.}$$

#### Источники разубоживания руды

1. Разубоживание на контакте за счет отслоения и прихвата пустых пород в кровле и почве выработки.

Площадь прихватываемых пород по контакту:

$$S_{n,l} = \frac{L \cdot X^2}{4 \cdot t \cdot B_{cp}} = \frac{8 \cdot 0,0225}{4 \cdot 1,5 \cdot 0,1} = 0,03 \text{ м}^2.$$

Вес разубоживающей породы:

$$Q_1 = S_{n,l} \times B_{oц} \times \gamma_p \times 2 \times N = 0,03 \times 5 \times 2,7 \times 2 \times 10 = 8 \text{ т.}$$

Разубоживание руды  $P_1 = 20580 \times 100 / 20580 - 100 = 0,03 \%$

2. Разубоживание руды за счет прихвата бетонной закладки на контакте "бетон-руды":

$$Q_3 = L_{oц} \times H_{oц} \times t^3 \times \gamma_3 \times N = 8 \times 6 \times 0,2 \times 1,6 \times 10 = 154 \text{ т.}$$

Разубоживание руды  $P_2 = 20734 \times 100 / 20580 - 100 = 0,8 \%$ .

3. Разубоживание руды закладкой из-за низкой устойчивости ее вертикального обнаружения.

Уложенные консолидированные глубоко сгущенные хвосты обладают низким сцеплением и поэтому при вертикальном обнажении их велика вероятность осыпания закладки в выработанное пространство под углом  $50 \div 60^\circ$ .

Площадь треугольника закладки, попадающая в отбитую руду:

$$S_3 = H_{oц} \times H_{oц} \times \operatorname{tg} 30^\circ = 6 \times 6 \times \operatorname{tg} 30^\circ = 20,8 \text{ м}^2.$$

Вес закладки, попадающей в отбитую руду по всей длине ее обнажения с двух сторон:

$$Q_p = S_3 \times L_{u} \times \gamma_3 \times 2 = 20,8 \times 78 \times 1,6 \times 2 = 5192 \text{ т.}$$

Разубоживание руды  $P_3 = 25773 \times 100 / 20580 - 100 = 25,2 \%$ .

Объем пустой породы и закладки оставленной на почве выработки вместе с потерями (30-40 %):

$$Q_{n} = L_{u} \times B_{u} \times l_p \times \gamma_{n} \times 0,3 / K_p = 78 \times 21 \times 0,1 \times 2,7 \times 0,3 / 1,5 = 88,5 \text{ т.}$$

Количество разубоживающей породы и закладки в "плинтусе" вместе с потерянной рудой (30-40 %):

$$Q_{пл} = S_{n,l} \times L_{oц} \times 0,3 \times \gamma_p \times 2 / K_p = 0,125 \times 78 \times 0,3 \times 2,7 \times 2 / 1,5 = 10,5 \text{ т.}$$

В сумме:  $Q = Q_p + Q_{пл} = 88,5 + 10,5 = 99 \text{ т.}$ , которые надо отнять от разубоживающей массы.

Общий вес разубоживающей массы по целику составляет:

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q = 8 + 154 + 5192 - 99 = 5255 \text{ т.}$$

Общий объем добытой товарной руды из целика составит:

$$Q_{тov} = Q_{из} + Q_p = 20580 + 5255 = 25835 \text{ т.}$$

Общее разубоживание составит:

$$P_2 = 25835 \times 100 / 20580 - 100 = 25,5 \%$$

Таким образом, закладка выработанного пространства глубоко сгущенными хвостами при камерно-столбовой системе разработки позволит:

- утилизировать до  $144300 \text{ м}^3$  хвостов в каждой панели;

- уменьшить размеры столбчатых целиков с  $5,5 \times 5,5 \text{ м}$  до  $4,5 \times 4,5 \text{ м}$  за счет учета в рас-

четах коэффициента длительной прочности [2], что позволит из каждой панели добыть дополнительно 14100 т руды и снизить процент потерь по системе на 3,5 %;

- уменьшить оседания земной поверхности за счет уменьшения выемочной мощности отработанных залежей до эффективной мощности (величина недозакладки плюс сжатие закладочного массива горным давлением);

- обеспечить сохранение для последующей выемки вышележащих рудных тел;  
- погасить барьерный целик в объеме 21 тыс. т с потерями руды 2 % при разубоживании 25,5 %.

#### Список литературы

1. Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы», утвержденные Министром по инвестициям и развитию РК, 30.12.2014. - № 352.
2. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки. – РК, 2008.
3. Единые правила по рациональному и комплексному использованию недр при разведке и добыче полезных ископаемых, 2015.
4. Макаров А.Б. Практическая геомеханика. – М.: Горная книга, 2006. – 391 с.

Получено 17.04.2019

УДК 622.273.2

**Е.А. Ананина**

Филиал РГП «Научный центр комплексной переработки минерального сырья Республики Казахстан» «ВНИИцветмет», г. Усть-Каменогорск

**Г.Т. Нуршайыкова, Б.Б. Амралинова**

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

#### ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕЗАХОРОНЕНИЯ ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ ЦИАНИДНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА

*Анализ концентрации цианидов и содержания золота в лежальных хвостах обогащения в хвостохранилище Секисовской золотоизвлекательной фабрики позволил обосновать безопасное и эффективное их захоронение в выработанное пространство шахт.*

*Секисовка алтын шығару фабрикасының қалдық қоймасындағы байтуудың жатқан қалдықтарындағы цианидтердің шогырлануын және алтынның құрамын талдау оларды шахталардың өндепген көністігіне қауітсіз және тиімді көмуді негіздеуге мүмкіндік берді.*

*Analysis of concentration of cyanides and grade of gold in mature beneficiation tailings in the tailing dump of the Sekisovskaya gold recovery plant allowed justifying their safe and effective burial in the mined-out space.*

При добыче и переработке полиметаллических руд образуется большое количество отходов, которые складируются в отвалы пустых пород и хвостохранилища. С каждым годом их объем возрастает, занимая огромные площади и отрицательно влияя на экологическую обстановку в районе действия горно-обогатительных предприятий.

Одним из путей решения этой проблемы является утилизация (захоронение) отходов в выработанное пространство шахт. Так, например, на Жезказганском месторождении при-

нята технология закладки выработанного пространства обесшламленными и обезвоженными текущими хвостами обогатительной фабрики в объеме 1,5 млн м<sup>3</sup> в год [1], а для шахты «Центральная» АО ЮГК разработана технологическая схема сгущения и обезвреживания текущих хвостов цианирования и утилизации их в качестве инертного заполнителя в твердеющих закладочных смесях [2].

С аналогичной проблемой столкнулись на Секисовском золоторудном месторождении, отрабатываемым комбинированным способом (карьер и подземные горные работы). Руда перерабатывается на золотоизвлекательной фабрике производительностью 500 тыс. т в год по схеме обогащения, включающей гравитационное извлечение золота в концентрат и угольно-сорбционное цианидное выщелачивание хвостов гравитации. Обезвреженные хлорированием или метабисульфитом (3-5 кг/т) хвосты с концентраций цианидов менее 0,2 мг/дм<sup>3</sup> и содержанием золота менее 0,2 г/т складируются в полностью гидроизолированное хвостохранилище (рис. 1).

На начало 2018 года было заскладировано около 4 млн м<sup>3</sup> хвостов. Выделение новых площадей для хвостохранилища весьма проблематично. Остро стоит вопрос об утилизации лежальных хвостов обогащения в выработанное пространство или перезахоронение их в отработанном карьере. Захоронение лежальных хвостов в выработанное пространство будет способствовать рациональному и комплексному использованию недр (снижение потерь и разубоживание руды), снизит себестоимость добычи руды, решит проблему со строительством нового хвостохранилища и улучшит экологическую обстановку в зоне действия предприятия.



Рисунок 1 - Секисовское хвостохранилище: гидроизоляционная пленка

Хвосты перед сбросом в хвостохранилище обезвреживаются с переводом цианидов (CN-) в малотоксичные цианаты (CNO-), которые в дальнейшем под воздействием природных факторов (солнечная радиация, окисление кислородом воздуха, микробиологические и криогенные процессы) разлагаются с образованием солей аммония и углекислоты.

С целью оценки возможности утилизации хвостов в выработанное пространство шахт при допустимом в соответствии с требованиями комплексного использования минерального сырья содержанием золота и требованиями санитарных правил по захоронению отходов [3] содержанием цианидов с секции № 2 Секисовского хвостохранилища было отобрано 50 проб хвостов по сетке 50×50 м (рис. 2) с глубин 1,0, 2,0 и 2,5 м ручным буrom (рис. 3).

Определение содержания цианидов в хвостах проведено в испытательном центре филиала РГП НЦ КПМС РК «ВНИИцветмет» (аттестат аккредитации KZ.I.07.0480) по ГОСТ 51680-2010 [4]. Контрольные определения выполнены спектрофотометром «DR-2400» (водная лаборатория) ТОО «Испытательная лаборатория НПО ВК-ЭКО» (аттестат аккредитации KZ.I.07.0222). Определение содержания золота в пробах хвостов выполнено в испытательном центре филиала РГП НЦ КПМС РК «ВНИИцветмет» (аттестат аккредитации KZ.I.07.0480).

Результаты определений представлены в таблице.

*Содержания цианидов и золота в пробах лежальных хвостов Секисовской ЗИФ*

№ пробы	Точка отбора	Глубина отбора, м	Содержание цианидов, мг/л		Содержание золота, г/т
			ВНИИцветмет	ТОО «ИЛ НПО ВК-ЭКО»	
X-2-1	1	1	0,017	0,02	0,34
X-2-2		2	0,033	0,02	0,22
X-2-3		2,5	0,013	0,02	0,20
X-2-4	2	1	0,060		0,15
X-2-5	3	1	0,107	0,1	0,23
X-2-6	4	1	0,013		0,19
X-2-7	5	1	0,036		0,18
X-2-8	6	1	0,013		0,15
X-2-9	7	1	0,036		0,18
X-2-10	8	1	0,018		0,51
X-2-11		1	0,050		0,11
X-2-12		2	0,031		0,11
X-2-13		2,5	0,046		0,17
X-2-14	10	1	0,064		0,15
X-2-15	11	1	0,090		0,15
X-2-16	12	1	0,090		0,18
X-2-17	13	1	0,040		0,22
X-2-18	14	1	0,054		0,15
X-2-19	15	1	0,207	0,2	0,14
X-2-20	16	1	0,120		0,21
X-2-21	17	1	0,073		0,12
X-2-22	18	1	0,047		0,13
X-2-23	19	1	0,023		0,14
X-2-24	20	1	0,027		0,12
X-2-25	21	1	0,060		0,14

X-2-26	22	1	0,063		0,33
X-2-27	23	1	0,019		0,13
X-2-28		1	0,120	0,11	0,20
X-2-29	24	2	0,136	0,11	0,16
X-2-30		2,5	0,046	0,047	0,12
X-2-31	25	1	0,025		0,13
X-2-32	26	1	0,031		0,14
X-2-33	27	1	0,180		0,13
X-2-34	28	1	0,090		0,21
X-2-35	29	1	0,206	0,2	0,16
X-2-36	30	1	0,047		0,13
X-2-37	30	2	0,130	0,14	0,20
X-2-38		2,5	0,030		0,18
X-2-39	31	1	0,063		0,091
X-2-40	32	1	0,035		0,14
X-2-41	33	1	0,025		0,13
X-2-42	34	1	0,073		0,13
X-2-43	35	1	0,019		0,12
X-2-44		1	0,055		0,25
X-2-45	36	2	0,037		0,26
X-2-46		2,5	0,087		0,23
X-2-47	37	1	0,046		0,15
X-2-48	38	1	0,035		0,23
X-2-49	39	1	0,025		0,26
X-2-50	40	1	0,015		0,20
Среднее			0,06	0,1	0,18



Рисунок 3 – Отбор проб ручным буром

Установлено, что концентрация цианидов по площади и глубине хвостохранилища изменяется от 0,012 до 0,21 мг/л (среднее 0,06 мг/л).

По требованиям СанПиН 4630-88 "Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнений" [5] необходимая степень очистки циансодержащих растворов должна быть не выше предельно допустимой концентрации (ПДК) цианидов 0,1 мг/л.

Таким образом, концентрация цианидов в лежальных хвостах Секисовского хвостохранилища не превышает ПДК для поверхностных вод. Содержание золота в пробах хвостов изменяется от 0,1 до 0,51 г/т (среднее 0,18 г/т).

Рациональным анализом, проведенным в лаборатории благородных металлов ВНИИцветмета, установлено, что в отвальных хвостах Секисовской ЗИФ основное количество золота (52,63 %) сосредоточено в тонких сростках (крупность хвостов 81,6 % класса 0,074 мм) и в эмульсионном и входящем в кристаллическую решетку минералов виде 10,53 %. Окисными пленками покрыто 15,79 % свободного золота. Таким образом, для доизвлечения этого золота потребуется сверхтонкое измельчение с последующим выщелачиванием. Это будет экономически невыгодно.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Концентрация цианидов в лежальных хвостах Секисовского хвостохранилища не превышает ПДК для поверхностных вод.
2. Содержание золота в лежальных хвостах Секисовского хвостохранилища в среднем составляет 0,18 г/т и доизвлечение его экономически нецелесообразно.

#### Список литературы

1. Цветков В.В. Обоснование применения гидравлической закладки подземного выработанного пространства с использованием хвостов обогащения на Жезказганском месторождении / В.В. Цветков, В.А. Исаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2005. - № 7. – С. 5-8.
2. Саракин А.В. Технология выработанного пространства смесями на основе отходов обогащения руд / А.В. Саракин, А.А. Гоготин // Горный журнал. - 2017. - № 9. – С. 41-45.
3. СТ РК ГОСТ Р 51680-2010 Вода питьевая. Метод определения содержания цианидов.
4. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к сбору, использованию, применению, обезвреживанию, транспортировке, хранению и захоронению отходов производства и потребления». Утв. МЗ РК № 187 от 23 апреля 2018 г.
5. СанПиН 4630-88 "Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнений".

Получено 17.04.2019

УДК 622.272

**Б. Ашикүр, Т.Т. Ипалаков, Д.К. Касымов**

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

#### РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА, УСИЛЕННОГО ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

В статье приведены основные положения расчетов напряженно-деформированного состояния земляного полотна, усиленного геосинтетическими материалами, и эпюры вертикальных напряжений на основной площадке для конструкции земляного полотна, армированного геосеткой, которая свидетельствует о более равномерном (по сравнению с типовой конструкцией) распределении напряжений на основной площадке, что исключает опасные зоны для развития недопустимых остаточных деформаций, в частности при неблагоприятном сочетании эксплуатационных факторов.

Мақалада жер төсемінің көрнеулі-деформацияланған жай-күйін, геосинтетикалық материалдармен қүшетілген және негізгі алаңда көрнеулердің біркелкі таралуын (типтік конструкциямен салыстырылғанда) көрсететін геосеткамен арматураланған жер төсемінің конструкциясына арналған тік көрнеулердің эпюрлерін есептеудің негізгі ережелері көлтірілген, бул жол берілмейтін қалдық деформацияларды дамыту үшін, атап айтқанда пайдалану факторларының қолайсыз үйлесуі кезінде қауіпті аймақтарды болдырмайды.

*This article describes the main provisions of the calculations of the stress-strain state of the roadbed, reinforced with geosynthetic materials and vertical stress diagrams on the main site for the construction of*

*the roadbed, reinforced with a geogrid, which indicates a more uniform (compared to the standard design) stress distribution on the main site, which excludes dangerous areas for the development of unacceptable residual deformations, in particular, with an unfavorable combination of operational factors.*

**Ключевые слова:** земляное полотно, конструкции пути, грунт, георешетка, геоматериал, деформация, напряженно-деформированное состояние 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 деформационных свойств позволяет применить теорию линейного деформирования для анализа напряженно-деформированного состояния.

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

3) Определение напряжений и деформаций 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.

Алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния земляного полотна по предложенной методике приведен на рис. 1.

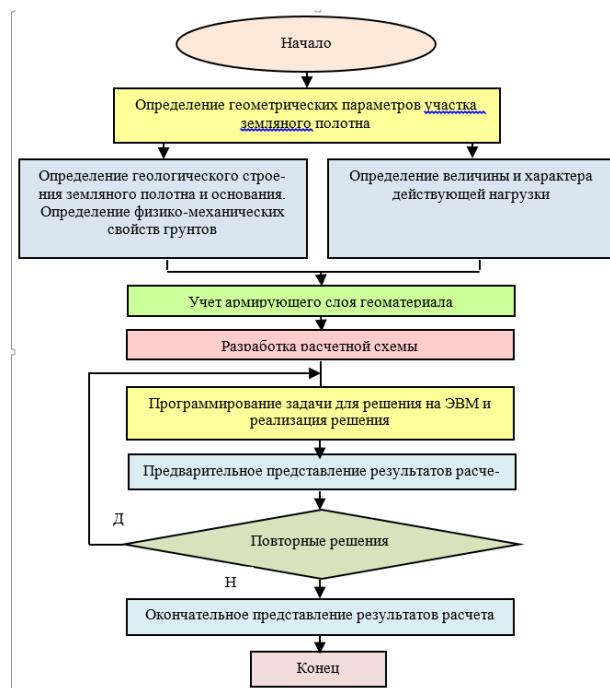


Рисунок 1 – Алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния земляного полотна

Предварительно устанавливаются тип и необходимые для расчета параметры существующего или перспективного подвижного состава, тип существующего или перспективного верхнего строения пути. Значения вертикальных нагрузок по длине шпалы определяются с использованием ординат эпюры напряжений под подошвой шпалы. Для упрощения расчетов принимается линейная зависимость распределения напряжений по-перек и вдоль шпалы (рис. 2) [1].

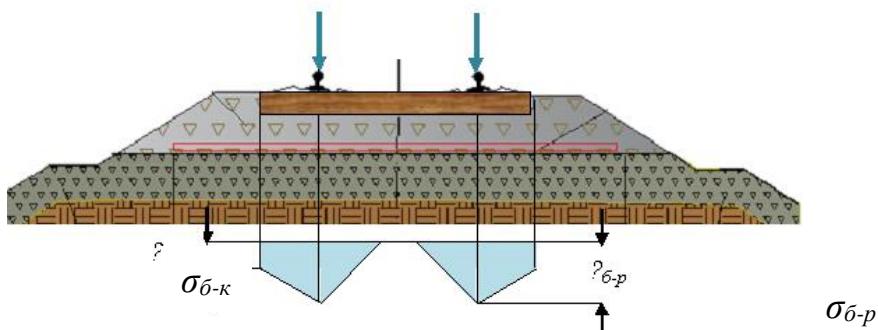


Рисунок 2 – Эпюра распределения вертикальных напряжений под подошвой шпалы

Для расчета принимаются параметры эквивалентного слоя, определенные в условиях, соответствующих расчетным (вид армирующего геоматериала, вид грунта, величина нагрузки).

Процедура конечно-элементной дискретизации и построение системы линейных алгебраических уравнений относительно узловых перемещений начинается с создания расчетной схемы.

При расчетах напряженно-деформированного состояния земляного полотна даже при наличии симметрии относительно оси пути рекомендуется разрабатывать расчетную схему в виде целого поперечного профиля. Как показал анализ многовариантных расчетов на ЭВМ, полные расчетные схемы в данном случае более точно отражают напряженно-деформированное состояние земляного полотна под воздействием подвижной нагрузки, чем обрезанные по оси симметрии. Под нагрузкой возникают значительные горизонтальные напряжения и перемещения, поэтому запрет горизонтальных перемещений (граница расчетной схемы) должен быть отнесен как можно дальше от места приложения нагрузки.

При назначении сетки разбивки необходимо учитывать также геологическое строение земляного полотна и основания. Разбивка на элементы производится таким образом, чтобы в пределах одного элемента физико-механические свойства грунтов были постоянными. Таким образом, граница какого-либо грунтового слоя в расчетной схеме будет представлять собой совокупность границ выделенных конечных элементов. Физико-механические свойства грунтов, слагающих земляное полотно и основание, учитываются при описании конечных элементов.

В качестве граничных условий запрещаются горизонтальные перемещения крайних узлов нижней границы основания насыпи, а также вертикальные смещения всех узлов нижней границы основания насыпи.

Значения вертикальных нагрузок по длине шпалы определяются с использованием ординат эпюры напряжений под подошвой шпалы. Для проведения расчетов в условиях плоской задачи в узлах прикладывается погонная нагрузка на один метр пути, так как на

одном метре пути располагается две шпалы с примерно одинаковой загрузкой под тележкой экипажа, полученные узловые силы необходимо увеличить в два раза. Эти силы и принимаются для дальнейшего расчета.

Алгоритм программы расчета напряженно-деформированного состояния земляного полотна, армированного геоматериалом, приведен на рис. 3.

Для создания расчетной схемы взят поперечный профиль насыпи, расположенной на перегоне Жаксы – Булак – разъезд № 3 Актогайской дистанции пути АО НК КТЖ (рис. 2).

Выбранный поперечный профиль симметричен относительно оси пути, но, тем не менее, для расчетной схемы взят полностью (рис. 2, 4). Как показал анализ многовариантных расчетов на ЭВМ, полные расчетные схемы в данном случае более точно отражают напряженно-деформированное состояние земляного полотна под воздействием подвижной нагрузки, чем обрезанные по оси симметрии.

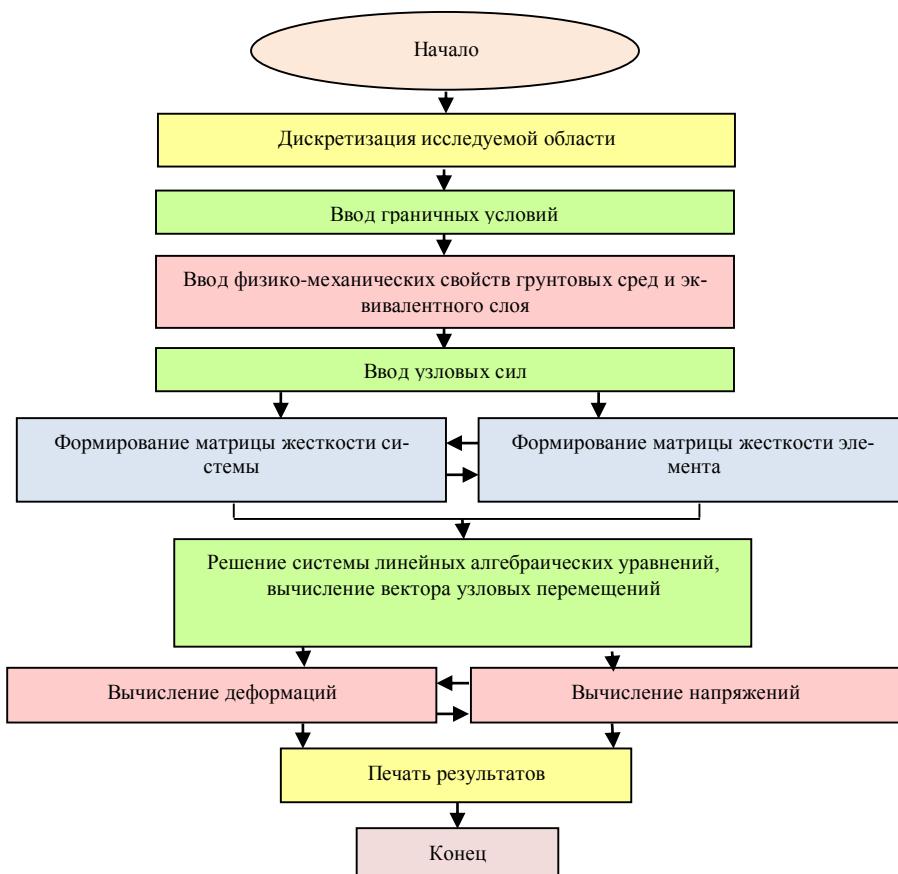


Рисунок 3 – Алгоритм программы расчета напряженно-деформированного состояния грунтового массива на ЭВМ

Поперечное сечение земляного полотна разбито на 402 треугольных конечных элемента. Общее количество узлов при выбранном варианте разбивке составило 237.

Верхнее строение пути представлено следующими конструктивными элементами:

- рельсы Р65, длиной 25 м;
- шпалы деревянные, 1840 шт./км;

- скрепление костыльное;
  - балласт щебеночный, толщиной 50 см под подошвой шпалы с содержанием засорителей не более 10 %.

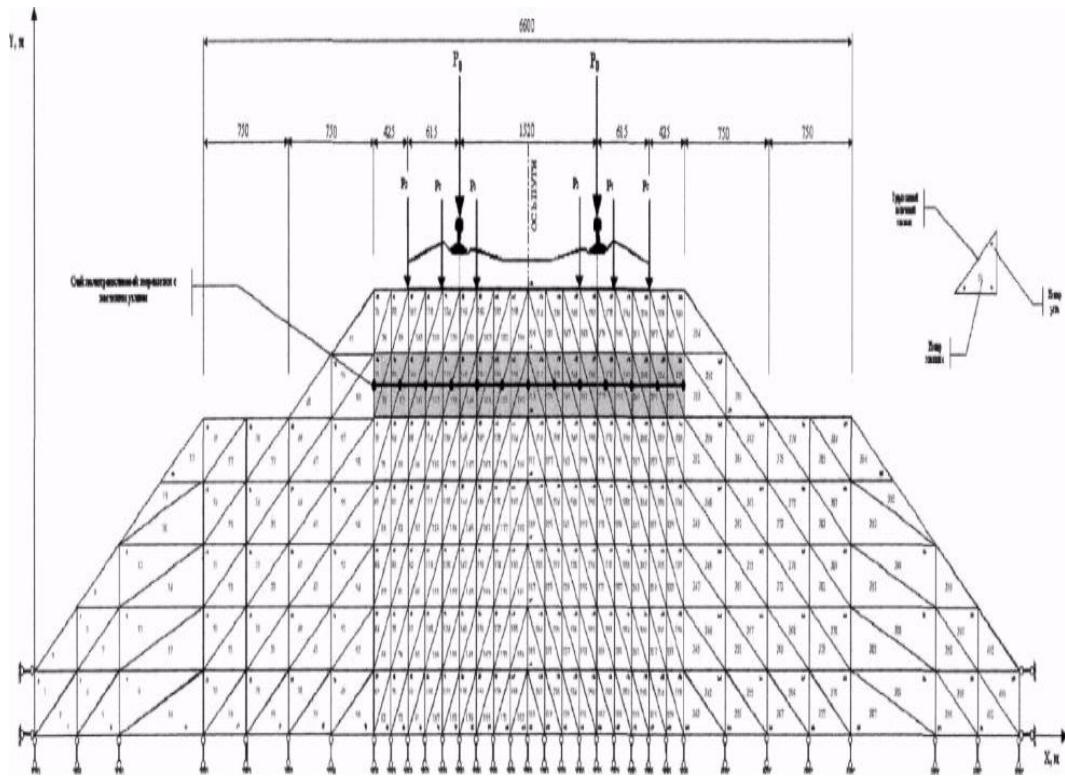


Рисунок 4 – Расчетная схема для определения напряженно-деформированного состояния земляного полотна, усиленного геоматериалом

Слои грунта в расчетной схеме принимаются по результатам инженерно-геологического обследования, сверху вниз: щебень балластной призмы, песок с гравием и галькой, глина. Принятые при расчетах прочностные и деформационные характеристики грунтов поперечного профиля сведены в табл. 1.

## Таблица 1 *Физико-механические характеристики грунтов*

Наименование слоя	Удельный вес, т/м <sup>3</sup>	Модуль деформации, МПа	Коэффициент Пуассона	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения
Щебень	2,2	72	0,27	0	48
Пескогравий	1,9	40	0,30	0,001	35
Глина	1,75	15	0,42	0,006	6

При расчете по методу конечных элементов моделировалось усиление основной площадки земляного полотна геосеткой. Технические характеристики этой геосетки приведены в табл. 2.

Таблица 2  
*Физико-механические показатели полимерных геосеток*

Условное обозначение геосеток	Поверхностная плотность, г/см <sup>2</sup> , не менее (пропитанной сетки)	Разрывная нагрузка не менее, кН/м		Удлинение при разрыве не более, %		Допустимая потеря прочности на растяжение после 25 циклов промораживания - оттаивания не более, %	Размеры стороны квадрата ячеек (±2%), мм	Ширина рулона (±2%), см
		По основе	По углеку	По основе	по углеку			
ПС 50/50-20 (500) - ПОЛИСЕТ	160	50	50	13	13	10	20	500
ПС 50/50-50 (500) - ПОЛИСЕТ	160	50	50				50	500
ПС 100/100-50 (500) - ПОЛИСЕТ	300	100	100				50	500

Результаты аналитического расчета сравнивались с результатами экспериментальных работ. Анализ сравнения данных показал высокую степень сходимости: напряженное состояние основной площадки земляного полотна, усиленной геосеткой, характеризуется невысокими абсолютными значениями вертикальных напряжений в различных точках поперечного сечения с максимумом в подрельсовых сечениях – 0,38 кг/см<sup>2</sup>. Вертикальные напряжения по оси пути составляют 18,6 % от напряжений в подрельсовой зоне, под торцом шпалы – 46,8 %. Следует отметить, что при данном уровне вертикальных нормальных напряжений на основной площадке земляного полотна, полноценное включение геосетки в работу не происходит, и эффект перераспределения напряжений на основной площадке практически отсутствует. Результаты расчета напряженного состояния земляного полотна при усилении основной площадки геосеткой подтверждаются результатами натурных экспериментальных исследований, что свидетельствует об адекватности математической модели реальным условиям и позволяет рекомендовать предложенную методику для расчета напряженно-деформированного состояния земляного полотна [2].

Для оценки эффекта влияния геосетки на напряженно-деформированное состояние земляного полотна при уровне напряжений на основной площадке в подрельсовых сечениях порядка 1 кг/см<sup>2</sup> (0,1 МПа) выполнен расчет. В связи с вышеизложенным к расчету принимается эквивалентный слой с параметрами  $h_{экв} = 22$  см,  $E_{экв} = 480$  МПа. В результате серии расчетов в каждом треугольном элементе получены вертикальные  $\sigma_z$ , горизонтальные  $\sigma_y$  и касательные  $\tau$  напряжения. На рис. 5 приведено распределение вертикальных динамических напряжений  $\sigma_z$  на уровне основной площадки земляного полотна до армирования геосеткой, на рис. 6 аналогичным образом представлено распределение тех же напряжений после армирования геосеткой. Для большей наглядности при сопоставлении результатов на рис. 7 представлено распределение вертикальных  $\sigma_z$ , напряжений от воздействия подвижного состава на уровне основной площадки земляного полотна до и после армирования георешеткой.

По результатам расчетов определялись значения армирующей функции в различных сечениях, которые составили [1]:

$$k_{0-P}(\sigma) = \frac{\sigma_{0-P}^{apm}}{\sigma_{0-p}^{min}} = 0,89. \quad k_{0-k} = \frac{\sigma_{0-k}^{apm}}{\sigma_{0-k}^{min}} = 1,08. \quad k_{0-0} = \frac{\sigma_{0-0}^{apm}}{\sigma_{0-0}^{min}} = 1,25.$$

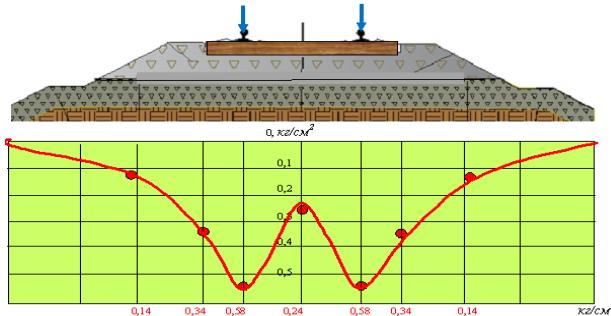


Рисунок 5 – Распределение вертикальных динамических напряжений на уровне основной площадки земляного полотна до армирования

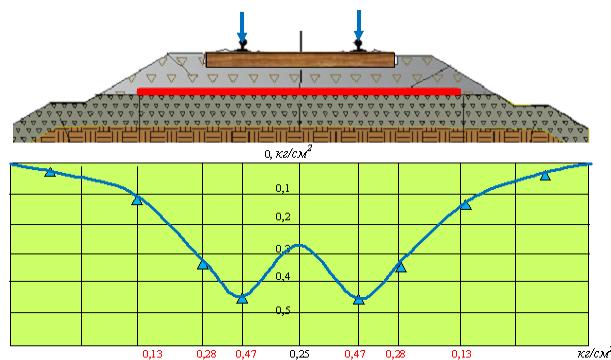


Рисунок 6 – Распределение вертикальных динамических напряжений на уровне основной площадки земляного полотна после армирования

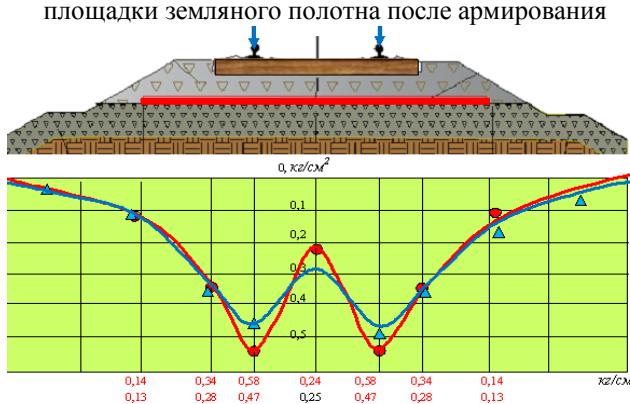


Рисунок 7 – Распределение вертикальных динамических напряжений на уровне основной площадки земляного полотна после и до армирования

Согласно результатам аналитического расчета, усиление основной площадки земляного полотна геосеткой приводит к перераспределению напряжений на основной площадке со снижением величины напряжений в подрельсовых сечениях на величину около 12 %.

Экспериментальные работы, выполненные на железных дорогах России подтверждают качественную картину перераспределения напряжений на основной площадке земляного полотна при армировании плоскостными геоматериалами. По результатам комплексных исследований, выполненных с использованием геосетки на основе стеклосетки марки СПАП-КАМА (ТУ-6-11-217-76) во ВНИИЖТЕ под руководством д.т.н. Г.Г. Коншина и при участии ПГУПС (И.В. Прокудин), ДГАПС (Г.М. Стоянович) сделан вывод об изменении эпюры вертикальных напряжений на основной площадке земляного полотна:

«...Определена эпюра вертикальных напряжений на основной площадке для конструкции пути с защитными покрытиями из синтетических материалов, которая свидетельствует о более равномерном (по сравнению с типовой конструкцией) распределении напряжений на основной площадке...» [3].

По данным Г.Н. Жинкина [4], использование стеклосетки на глубине 50 см от подошвы шпалы снижает вертикальные напряжения под рельсошпальной решеткой в среднем на 23 %. Экспериментальные исследования на 102 км действующей железнодорожной линии Санкт-Петербург - Выборг (армирование геоматериалами производилось в ходе основных работ капитального ремонта пути) позволили сделать следующий вывод: защитный слой, армированный плоскостным рулонным геоматериалом, перераспределяет напряжения, передаваемые на грунты основной площадки земляного полотна, выравнивая их в поперечном направлении с одновременным снижением в подрельсовых сечениях на величину 7-27 %. Экспериментальные исследования на линии Санкт-Петербург – Москва дали следующие результаты для плоскостных геоматериалов, уложенных в один слой: снижение вертикальных динамических напряжений на основной площадке в подрельсовых сечениях составляет 7-17 % в зависимости от марки геоматериала.

Таким образом, при типовых конструкциях пути верхняя часть земляного полотна с основной площадкой, усиленной георешеткой, воспринимает более равномерное нагружение в вертикальном направлении, что исключает опасные зоны для развития недопустимых остаточных деформаций, в частности, при неблагоприятном сочетании эксплуатационных факторов. Тем не менее, количественная оценка изменения напряженного состояния на объектах экспериментальных работ существенно различается в зависимости от сочетания эксплуатационных, технологических и конструкционных факторов, таких как деформативные свойства грунтов земляного полотна и основания, геометрические параметры насыпи, действующие нагрузки, реализуемые скорости движения поездов, конструктивные решения армирования и т.д.

#### Список литературы

1. Уразбеков А.К. Армирующая функция геосинтетических материалов при совместной работе с балластными материалами / А.К. Уразбеков, П.Т. Григорьева // Вестник НИИ РПС. - 2006. - № 1. - С. 22-24.
2. Исаенко Э.П. Подготовка железнодорожного пути к скоростному движению пассажирских поездов / Э.П. Исаенко, М.В. Безруков, С.Ю. Иванов. - Нижний Новгород: Нижегородский печатник, 2001. - 125 с.
3. Нормативы упругих осадок (деформаций) основной площадки земляного полотна и методика проектирования рабочей зоны земляного полотна для подготовки пути к скоростному движению пассажирских поездов. - М.: МПС России, 1998. - 9 с.
4. Жинкин Г.Н. Результаты лабораторных исследований прочностных характеристик глинистых грунтов при динамических нагрузках. Вопросы проектирования и сооружения железнодорож-

ного земляного полотна / Г.Н. Жинкин, И.В. Прокудин // Тр. ЛИИЖТа. - 1975. - Вып. 387. - С.3-51.

Получено 17.04.2019

---

УДК 669.2/8

**А.Г. Бакиров, С.А. Абдулина**

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

**А.К. Жунусов**

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИКО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ  
АКСУСКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ**

*В статье рассматривается проблема образования золошлаковых отходов в Павлодарской области. Описаны исследования точечного химического и спектрального анализа золошлаковых отходов.*

*Мақалада Павлодар облысындағы күл қождары қалдықтарының пайды болу мәселесі қарастырылған. Күл қождары қалдықтарының спектрлі және нүктелі химиялық зерттеулері көрсетілген.*

*The article deals with the problem of the formation of ash and slag waste in the Pavlodar region. Researches of point chemical and spectral analysis of ash and slag waste are described.*

**Ключевые слова:** золошлаковые отходы, муллит, екибастузские угли, глинозем.

На сегодняшний день топливная база Павлодарской области представлена крупным угольным Екибастузским месторождением и другими относительно небольшими. Данные угли относятся к категории каменных и используются исключительно как энергетические. Основным недостатком данных углей является высокая зольность, в связи с чем они не представляет интереса в металлургии. Однако, угли Екибастузского месторождения являются хорошим топливным сырьем и широко используются энергетическими компаниями, расположенными в Павлодарской области.

Из литературных источников известно, что данные угли при сжигании образуют большое количество золы (до 50 %). Образованные на энергетических станциях золошлаковые отходы отправляются на отвалы и не находят дальнейшего применения. По данным [1], только в Павлодарской области на золоотвалах накоплено свыше 500 млн тонн таких отходов. Утилизация и переработка золошлаковых отходов имеет важное экологическое и экономическое значение для нашей республики. Ведь зола является совершенно доступным и дешевым сырьем, которое при рациональном подходе может преобразоваться в материал, ценный в металлургическом или строительном производстве.

Особый интерес со стороны металлургии представляют содержащиеся в составе золошлаковых отходах железо и алюминий [2].

По данным [3], зола Екибастузских углей содержит до 30 % оксида алюминия. С золой ежегодно отправляются в отвалы около 6 млн т. оксида алюминия, это только Екибастузскими ГРЭС. Следовательно, золы екибастузских углей являются фактически неисчерпаемым источником сырья для производства глинозема [1, 3]. К тому же использование золошлаковых отходов на 80 % приближает технологию ТЭС к безотходной.

Для изучения состава золошлаковых отходов екибастузских углей, были отобраны пробы с золоотвалов Аксуской энергетической компании (АО АЭК). Исследуемые золошлаковые отходы представляют собой мелкодисперсную пыль серого цвета.

В табл. 1 представлен химический состав проб с золоотвалов АО АЭК, выполненный нами, в сравнении с результатами работы [3], где представлен химический состав Екибастузских ГРЭС и Павлодарских ТЭЦ.

Анализируя данную таблицу, видим, что химический состав ЗШО АЭК отличается только по содержанию  $Al_2O_3$ . Это отличие можно объяснить, скорее всего, разбросом и неоднородностью химического анализа на огромной площади золошлаковых отвалов.

Таблица 1  
Химический состав золошлаковых отходов екибастузских углей

Наименование ЗШО	Содержание, %								
	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$TiO_2$	$K_2O$	$SO_3$	$Na_2O$
ЗШО ГРЭС-1 [3]	52,3	25,7	5,26	1,53	0,4	-	0,03	1,68	0,6
ЗШО ГРЭС-2 [3]	57	22,3	2,80	1,60	0,9	-	0,30	1,72	0,2
Павлодарское ТЭЦ [3]	54,1	28,3	7,47	1,14	0,55	1,48	0,40	0,62	0,2
АЭК	55	12,04	2,30	1,36	0,4	0,71	0,50	-	0,7

Точечный химический анализ золошлаковых отходов выполняли в ВКГТУ им. Серикбаева с помощью растровой электронной микроскопии с системой микроанализа INCA Energy, представляющей собой аналитический комплекс. Данный комплекс позволяет проводить исследование морфологии и структурной неоднородности твердых сред с высоким разрешением, а также изучать вещественный состав (основные компоненты с концентрацией от 0,1-0,3 до 100 %) на локальном участке диаметром около 3 мкм.

Подобный анализ природных объектов обеспечивает выявление их возможной зональности, наличие инородных включений и оперативную диагностику автономных фаз. Кроме того, он позволяет изучать закономерности распределения химических элементов между существующими фазами.

На рис. 1 представлен микрошлиф ЗШО Аксуской ГРЭС.

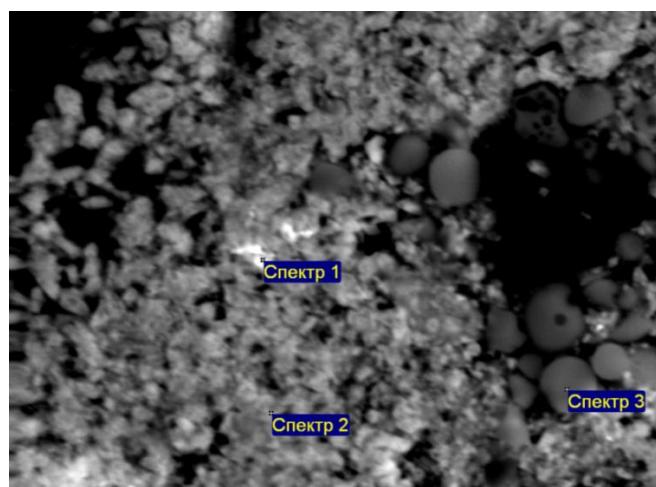


Рисунок 1 – Микрошлиф ЗШО Аксуской ГРЭС по спектрам

На микрошлифе наблюдаются микрошарики сферической формы. Данные шарики – это так называемая микросфера, легкая фракция золы-уноса с насыпной плотностью 0,35 – 0,5 г/см<sup>3</sup> [4], состоящая из полых частиц сферической формы, получившая название «микросферы из зол-уноса».

На рис. 2 и в табл. 2 представлены данные рентгенограммы распределения количества элементов по спектрам, из которых видно, что максимальное количество элементов по алюминию и кремнию составляет 10,20 и 10,99 соответственно. В спектре 1 алюминия содержится минимальное количество, а минимальное количество железа содержится в спектре 3.

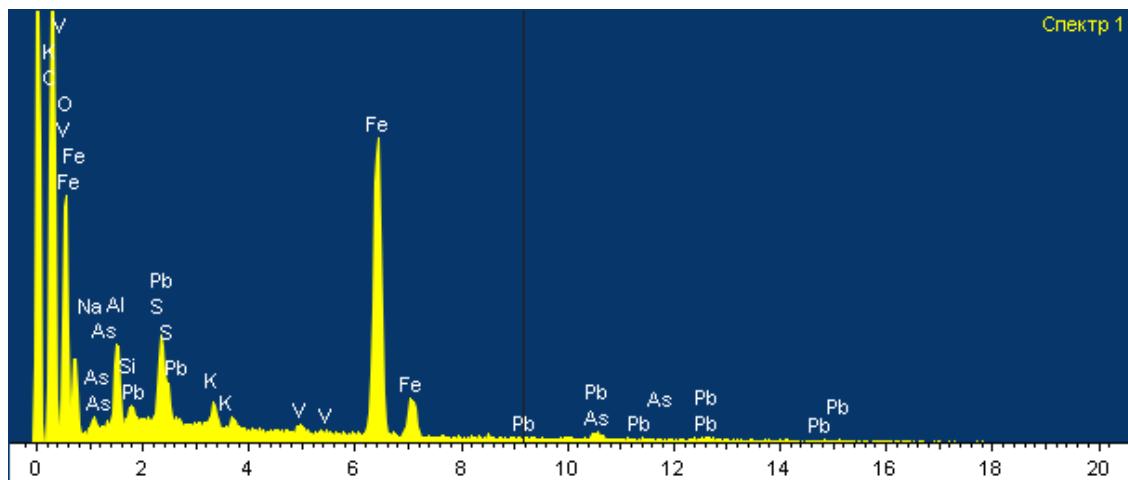


Рисунок 2 – Рентгеннограмма ЗШО Аксуской ГРЭС с использованием растровой электронной микроскопии с системой микроанализа INCA Energy

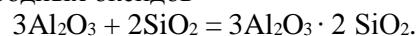
## Распределение химических элементов по спектрам излучения

Спектр	Элементы, %					
	O	Na	Mg	Al	Si	S
Спектр 1	31,58	1,33	-	4,65	0,76	2,02
Спектр 2	33,08	1,84	-	5,74	0,77	0,66
Спектр 3	43,51	1,37	0,92	10,20	10,99	0,71
Макс.	43,51	1,84	0,92	10,20	10,99	2,02
Мин.	31,58	1,33	0,92	4,65	0,76	0,66
Спектры	Элементы, %					
	K	Ca	Ti	V	Fe	Pb
Спектр 1	1,04	-	-	0,76	50,70	7,15
Спектр 2	1,05	-	-	0,88	55,99	-
Спектр 3	0,88	0,58	0,17	-	30,68	-
Макс.	1,05	0,58	0,17	0,88	55,99	7,15
Мин.	0,88	0,58	0,17	0,76	30,68	7,15

Небольшое количество кремния (табл. 2) объясняется присутствием в составе ЗШО тугоплавкого [5] муллита  $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ . Присутствие муллита наблюдается на представлен-

ном ниже рис. 3 рентгенофазового анализа.

Муллит образуется из свободных оксидов



Является наиболее термодинамически устойчивой формой соединения, в которой ионы алюминия частично находятся в четвертичной, частично в шестерной координации. Анализируя проведенные исследования, можно сделать вывод, что при нагревании золошлакового материала в окислительной среде до температур 1000 – 1200 °С в основном образуются муллит и кварц, что также подтверждается данными рентгенофазового анализа [2].

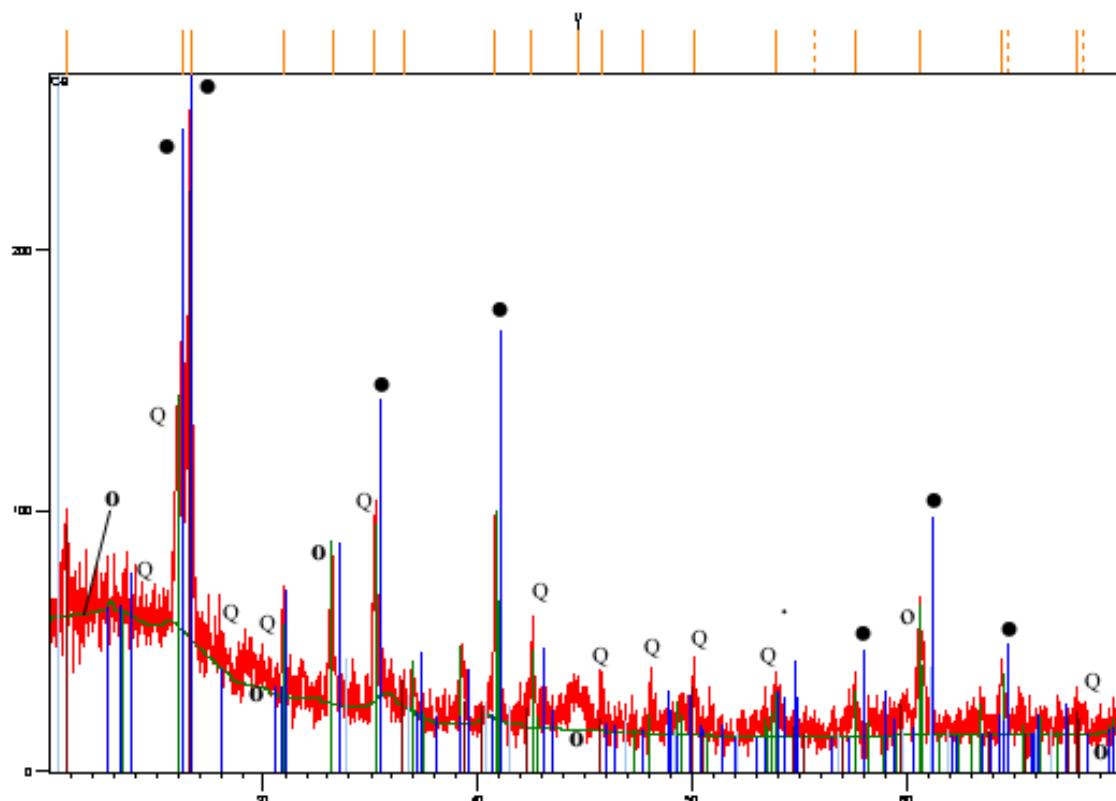


Рисунок 3 – Рентгенофазовый анализ пробы золошлаковых отходов екибастузских углей:  
• – муллит ( $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ): о – силлиманиит ( $\text{Al}_4\text{SiO}_9$ ): Q – кварц ( $\text{SiO}_2$ )

Наблюдается алюминиевый силикат – силлиманит. Муллит очень близок к решетке силлиманиита и обладает дефектной структурой последнего [6-11]. Она возникает заполнением решетки силлиманиита ионами  $\text{O}^{2-}$  и  $\text{Al}^{+3}$ .

Таким образом, результаты исследований показывают, что зола екибастузского угля АЭК относится к золам со средним содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , поэтому одним из вариантов будет ее использование при производстве глинозема. Содержание в ЗШО таких металлов, как Al (12,04 %), Fe (2,3 %) позволяет разработать технологию их извлечения, тем более что данные компоненты преимущественно находятся в мелкодисперсной фракции ЗШО золошлакоотвала, которая может не подвергаться дополнительному измельчению.

## Список литературы

- Битимбаев М.Ж. Перспективы развития горно-металлургического комплекса Павлодарской области // Перспективы развития Павлодарской области: наука, производство, кластер: Сб. докл. по материалам выездного заседания Президиума национальной Инженерной Академии Республики Казахстан. – Павлодар: ПГУ им. С. Торайырова, 2018. – С. 34-42.
- Мальчик А.Г. Изучение золошлаковых отходов для их использования в качестве вторичных ресурсов / А.Г. Мальчик, С.В. Литовкин // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований. – Москва, 2015. – № 9-1. – С. 23-27.
- Умбетова Ш.М. Техногенные отходы и пути их вторичной переработки. - Вестник КазНТУ, 2009.
- <http://www.mikovk.kz/ru/article/glavy-iz-knigi-mikova-ag>.
- Малышева Т.Я. Петрография и минералогия железорудного сырья: Учеб. пособие для вузов / Т.Я. Малышева, О.А. Долицкая. – М. : МИСИС, - 2004. – 424 с.
- Абдрахимов В.З. Исследование железосодержащего традиционного природного и техногенного сырья на спекание керамических материалов. Влияние ионов  $Re^{2+}$  и  $Re^{3+}$  на образование низкотемпературного муллита. - Самара: Самарский гос. архитек.-строит. ун-т, 2009. - 427 с.
- Абдрахимова Е.С. Формирование муллита при обжиге кислогоупоров / Е.С. Абдрахимова, В.З. Абдрахимов // Материаловедение. - 2003. - № 4. - С. 26-31.
- Абдрахимова Е.С. Синтез муллита из техногенного сырья и пирофиллита / Е.С. Абдрахимова, В.З. Абдрахимов // Журнал неорганической химии. - РАН. - 2007. – Т. 52. - № 3. - С. 395-400.
- Абдрахимова Е.С. Исследование кристаллизации муллита при обжиге кислогоупоров / Е.С. Абдрахимова, В.З. Абдрахимов // Новые оgneупоры. - 2012. - № 4. - С. 39-45.
- <https://cyberleninka.ru/article/n/fazovyy-sostav-keramicheskikh-izdeliy-na-osnove-othodov-goryuchih-slantsev-ugleobogascheniya-neftedobyche-i-zoloshlakovyh-materialov>.
- Балмаева Л.М. Диламетрические исследования процесса спекания с целью комплексной переработки техногенных зол / Л.М. Балмаева, Р.К. Сотченко, А.Р. Рахимов и др. // Тр. ун-та КарГТУ. - 2012. - № 3. - С. 38-40.

Получено 17.04.2019

УДК 502.7; 630\*43

**B.P. Kurmanbay, K.B. Massenov, Y.Zh. Bitmanov**  
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

**ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE STATE OF ENVIRONMENTAL SAFETY IN FOREST FIRES (SUMMER PERIOD)**

*В статье рассматривается динамика и характер противопожарной защиты лесов и животного мира в зеленом поясе города Астаны. Анализ причин лесных пожаров необходим для прогнозирования пожаров в летний период.*

*Мақалада Астана қаласының жасыл белдеуіндегі ормандар мен жануарлар дүниесін өртке қарсы қорғау динамикасы мен сипаты қарастырылады. Орман өрттерінің себептерін талдау жазғы кезеңде өрттерді болжай ушін қажет.*

*The article describes the dynamics and nature of the fire protection of forests and wildlife in the green belt of the city of Astana. Analysis of the causes of forest fires is necessary to predict fires in the summer period.*

**Key words:** forest security systems, forest fire events, environmental safety, green belt, forest combustible materials.

Forest fires cause ecological, social and economical damage. It is important assessment and forecasting ecological consequences of forest fires, because their influence is multilaterally: on

local weather and global climate processes, vegetation and wildlife, atmosphere, soil and on humans. Building a new generation of climate models is advisable given the influence of forest fires on region ecology in particular and the planet as a whole.

The methodology of prognostic modeling of forest fire danger was developed earlier. The results obtained can be used as input data for systems for assessing, monitoring and predicting the environmental consequences of forest fires.

**Relevance.** Forest fires remain one of the powerful natural factors affecting global environmental changes occurring on the planet. Traces of this catastrophic phenomenon of enormous proportions can be found on every continent. Unfortunately, quite often situations are realized in which all known technologies of fire fighting do not bring results, and only nature itself is able to stop the fire element that has escaped the control of a person. They partially or completely destroy the vegetation, violate the microclimate, change the properties of the soil and generally have a negative impact on the ecological situation.

Protecting forests from fires is one of the main components of sustainable forest management. The extent of damage caused to forest plantations in both economic and environmental terms depends on how efficiently it is carried out.

Forest fires occur for a variety of reasons. Conventionally, they can be divided into two groups: natural and man-made. There is also another group of causes that is given in the statistical reports on forest fires - "for unknown reasons". According to our data on the analysis of statistics of forest fires in Kazakhstan for the period from 2014 to 2018 less than 80% fires occur not due to natural factors, due to anthropogenic factors.

Purpose of the article is development of fire safety measures in Astana's green belt.

To achieve the goal, the following tasks were set:

1) to passage reason analysis the occurrence of forest fires based on familiarization with official statistics on forest fires Astana's green belt for the period from 2014 to 2018, detection of basic patterns of their spread;

2) development of recommendations to improve efficiency conducting fire advocacy.

**Object and research methods.** The study of the environmental safety of forest fires was carried out in the green belt of Astana.

The green belt of Astana is a project of mass afforestation around the capital of Kazakhstan. In 2018, the area of the green belt of Astana reached 83 thousand hectares of land, the length from north to south - 115 kilometers, from west to east - 130. The "green belt" inside the capital is almost 15 thousand hectares. 117 plant species, almost 10 million trees and 2 million shrubs, dozens of species of animals and birds. Large-scale work on the connection of the forests of the "green belt" and "Shchuchinsko-Borovskoy resort area" will be continued in the coming years. In particular, more than one thousand hectares of forest will be planted along the Astana-Karaganda and Astana-Shortandy highways. According to the forest vegetation zoning, the territory of the Akmola region belongs to the province of Kazakhstan-West Siberian typical aspen aspen forests and birch forests, sometimes with residual pine forests and is located in two areas:

№ 1 – on the territory of the left-bank Ishimsky typical Kolinky aspen and birch forests;

№ 2 – on the territory of the right-bank Ishim typical Kolinka aspen and birch forests.

In the studies used methods of physical and mathematical modeling.

Studies of the effect of increased temperature on the soil are planned to be carried out using the technology of mathematical modeling and physical experiment on specially equipped stands, as well as through microbiological research.

An important tool in solving the problems of the theory of forest fire danger and environmental impact assessment is physical modeling.

In the process of developing the theory of forest fire danger, unique installations have been created to simulate the effect of local heating sources on LGM layers. On the basis of these installations, equipment can be created for studying heat transfer in natural layered media such as soil.

GIS is used to provide daily information on the current fire situation in forests throughout the country with a view to making strategic decisions in emergency fire situations, as well as assessing the effects of fires and taking into account current changes.

Preventing oxygen access is the most effective way to stop the burning of forest combustible materials (FCM), which is produced using chemical solutions and powders, the device barrage mineralized strips, the use of explosives and using various mechanisms.

#### Recommendations for extinguishing forest fires

When extinguishing forest fires, the following methods and technical means are used:

- sprinkling fire on the edge of the fire with branches;
- backfilling of the edge of the fire with shovels;
- start of annealing (oncoming bottom fire);
- quenching the burning edge with water.

The choice of methods and technical means for extinguishing a fire depends on the type, strength and speed of the spread of the fire, the natural environment in which it operates, the availability of fire fighting forces and means and the intended tactics.

Firefighters will spend 20 minutes on the choice and preparation of the route, on the creation of a support strip by laying a minstrip in one trace (DT-75 tractor, PKL-70 plow) - 40 minutes. And burning ground cover - 15 min. The total time will be - 75 min.

In the calculation, there is no value for the rate of advancement of the annealing fire, which can be calculated using the formulas of Amossov GA (1964).

$$V_f = 0,35 V_{fl} + 0,17$$

$$V_r = 0,10 V_{fl} + 0,20$$

Where:

$V_{fl}$  - fire speed on the flanks, m / min;

$V_r$  - fire speed from the rear, m / min;

$V_f$  - the speed of fire on the front of the fire (determined at the site of the current fire), m / min.

The speed of movement of the fire is equal to the speed of movement of the rear, i.e. for this example, it is 1.2 m / min. It is easy to calculate that to perform the above work it is necessary to retreat from the fire to 937 m. You can use the finished table, with the speed of movement of the fire front from 1 to 10 m / min.

To develop fire fighting tactics and calculations of the need for workers and equipment, it is necessary to know the length of the edge of the fire and its individual elements, as well as the likely increase in the perimeter of the fire at a wind speed of not more than 5 m / s and a uniform combustible material, the fire takes a pear shape.

If we replace it with a square of the same area, we get the perimeter of the square equal to the perimeter of the fire:

$$P = 4 L, \text{ where: } P - \text{fire perimeter, m;}$$

$L$  is the length of the side of the square, m;

The side of the square is determined:  $L = \sqrt{S}$ .

$S$  - square of the square and fire,  $m^2$ ;

But it does not take into account the tortuosity of the edge of the fire, taking into account that  $P = 5L$ . It is believed (Belov, 1980) that this rule can be applied in practice, when with a known fire area, you need to know the length of the edge, which is necessary to calculate the forces and

means of fire extinguishing.

After determining the values of the fire elements considered, it is necessary to sketch out a fire drawing. Selecting the tactical elements in the figure, find their length in relative units. Knowing the perimeter of the fire, it is possible to calculate the length of the burning edge along the front, rear and flanks. The diagram should note the areas that must first be protected from fire. The figure should show the natural barriers to the spreading fire, as well as water sources and access routes to them, transport routes for the delivery to the place of fire of forces and fire fighting equipment.

The extinguishing of a forest fire is divided into the following sequential tactical operations:

1. Localization of fire.
2. Extinguishing of the foci of combustion remaining inside the fire.
3. Partial fire.

The most difficult and time consuming is the localization of a fire. Reliable localization of a fire is a crucial phase of extinguishing it.

Spraying, filling with soil, or pouring the edge of a fire with water or chemical solutions (especially using a knapsack apparatus) in most cases ensures only the first stage of fire localization — a temporary stop of their propagation, and the edge burning often resumes after a while and the fire continues.

Therefore, only those fires should be considered localized, around which protective mineralized strips or ditches are laid, reliably blocking the paths of further combustion propagation or when the fire extinguisher has full confidence that other fire localization methods used reliably exclude the possibility of their renewal. Fire extinguishing consists in the elimination of fires remaining on the area covered by the fire after its localization.

The occlusion of the conflagration consists in continuous or periodic inspection of the area covered by the fire in order to prevent the resumption of the fire from hidden foci that were not detected during extinguishing.

Forest protection from fires in the Green Belt of Astana to the protection of forests and wildlife was carried out by forest guards by ground patrols on motor vehicles and horses. In addition, volunteer fire brigades are organized in almost every large settlement located on the territory of the capital, which include fire fighters from the local population, a tractor with a plow and vehicles to transport people to the site of a fire. The heads of the fire brigades were appointed employees of the state forest guard. The extinguishing of forest fires was carried out by the above fire brigades and the fire service of a state institution.

Table 1  
*Forest fire characteristic of the green belt of Astana*

Fire characteristic	Unit	Years					Total for 5 years	The average in year
		2014	2015	2016	2017	2018		
The number of fires	quantity	8	2	4	13	33	60	12
	%	13	3	7	22	55	100	
total area	quantity	203,5	3	1	45	230	482,5	96,5
	%	40	6	-	9	45	100	
The average area of a single fire	Ha	2,98	1,5	0,06	1,5	0,75	1,87	-
Fire frequency		485	121	121	185	185	-	218
Burning ability		1,44	0,18	0,007	0,27	0,14	-	0,407

Execution of fire prevention measures. During the reporting period, on the territory of the green belt of Astana for the protection of forests and wildlife, fire prevention measures were carried out in the following amounts:

**Table 2**  
*Fire Prevention Activities*

№	Activity	Unit	Performed by
		Measuring	Volume
1		2	3
1	Fire Breaking Device	Km	-
2	Device mineralized strips	-/-	80
3	Care for mineralized streaks	-/-	5952
4	Repair of fire prevention roads	-/-	-
5	Construction of fire roads	-/-	-
6	Cleaning logging sites from logging residues	Ha	2091
7	Vulnerability Cleaning	-/-	793

During the fire-dangerous period of 2006, 33 forest fires on the total area of 423.5 hectares appeared on the territory of the green belt of Astana for the protection of forests and wildlife. Damage from forest fires amounted to 2,155.1 thousand tege.

The main causes of forest fires are agricultural trees and not careful handling of fire in the territory of the State Forest Fund. The increase in the number of occurrences and the spread of forest fires compared with the previous year, 2015, is due to dry weather, which contributed to the spread of fires.

**Table 3**  
*The number of fires in 2017*

Year of observation	Total fires, pieces	April	May	June	July	August	September	October
2017	33/100%	1/3%	28/85%	2/6%	1/3%	-	1/3%	-

All forest fires in the green belt of Astana for the protection of forests and wildlife occurred in the month of May, when major agricultural work is being done. This month was dry weather, which contributed to the spread of fires. The area of forest fires by months is distributed as follows:

**Table 4**  
*Forest Fire Area*

	Total fires	Fire season months, burnt area, Ha %						
		April	May	June	July	August	September	October
2016	230/100%	13/3%	371,8/88%	3,1/1%	17,6/4%	-	18/4%	-

Table 5  
*The distribution of pyrotechnic indicators by types of fires*

Types of fire	Pyrotechnic indicators of fires		
	Quantity	Square	Damage, Thousand tenge
Downstream	33	230	2155,1
Upstream	-	-	-
Underground	-	-	-
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>230</b>	<b>2155,1</b>

Based on the results of the research, the following conclusions were made:

1. A study of the dynamics of fires in the green belt of Astana for the protection of forests and wildlife showed that over the past 5 years (2014-2018) 60 cases of forest fires have been registered here, and the total area covered by the fire was 482.5 hectares, of which covered with forest 482.5 ha.
2. Analysis of the causes of forest fires shows that the main ones are the violation of fire safety requirements in the forest and lightning.
3. In order to predict the fire hazard in the protected forest area, determine the daily hazard classes according to weather conditions, it is recommended to use the local daily fire hazard scale developed by the KazNIILCHA for Akmola region for the protection of forests and wildlife. According to the classes of daily fire danger, the order of work of forest fire services is established.
4. The optimal placement of linear and point fire-fighting facilities - fire observation posts and reservoirs, PHS, barriers and barriers will allow timely detection of fire sites in the forest in a timely manner and to prevent the spread of fires over large areas. This will reduce the area of fires by 15-20%.

#### List of used sources

1. The organizational and economic forest management plan of the Petropavlovsk State Institution for the Protection of Forests and Fauna. Volume 1 Explanatory note of the city of Alma-Ata, 2002. - 68 p.
2. Nesterov V.G. The nature of forest fires and the fight against them. - M.: VNIILH, 1939. - Vol. 2. - 108 p.
3. Artsybashev E.S. Forest fires and fighting them. - M.: Forest industry, 1974. - 152 p.

Получено 17.04.2019

---

МРНТИ 38.49.17

**И.Е. Матайбаева, О.В. Фролова, Б.Б. Амралинова, О.Н. Кузьмина, С.С. Айтбаева, А.Т. Акылбаева, З.К. Тунгушбаева**

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

#### РЕДКОМЕТАЛЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ГРАНИТОИДОВ КАЛЫ

*В статье рассматриваются факторы контроля оруденения, среди которых ведущее значение придается минералого-geoхимическим критериям и предпосылкам для прогнозирования и поиска*

*редкometалльных объектов.*

*Мақалада көнденуді бақылау факторлары қарастырылады, олардың ішінде сирек металды объектілерді болжау және іздеу үшін минералды-геохимиялық өлшемдер мен алышарттарға жетекші мән беріледі.*

*The article considers the control of mineralization factors, among which mineralogical and geochemical criteria and prerequisites for forecasting and searching for rare-metal objects are given leading importance.*

**Ключевые слова:** редкие металлы, Калба-Нарымская зона, минералого-геохимические критерии.

Постоянное увеличение спроса на редкие металлы и редкоземельные элементы связано с разнообразными областями их применения, которые играют ключевую роль в производстве материалов для высокотехнологичных сфер потребления. В настоящее время в Казахстане одна из важнейших задач заключается в восполнении минерально-сырьевой базы редких и редкоземельных элементов.

*Генетическая связь редкometалльного оруденения Калбы.* Вопросы генетической связи редких металлов с гранитоидами Калбы рассматривались ранее во многих работах [1]. Критерии потенциальной рудоносности гранитоидов определялись на основании комплекса геотектонических, геолого-структурных, петрохимических и минералого-геохимических факторов. В связи с эволюцией гранитоидного магматизма в коллизионной и постколлизионной геодинамических обстановках ( $C_1-P_2-T_1$ ) происходила закономерная смена вещественного состава интрузивных комплексов и связанных с ними типов золотого и редкometалльного оруденения различной масштабности [2].

*Танталоносности пегматитообразующих гранитоидов.* В результате научно-исследовательских работ установлено, что индикаторами редкometалльного рудообразования являются породообразующие минералы гранитов (кварц, микроклин, полевые шпаты, биотит, мусковит), а также рудные и сопутствующие минералы (альбит, клевеландит, лепидолит, берилл, цветные турмалины, кассiterит, танталит и др.), встречающиеся в различных типах пегматитовых, грейзеновых и кварцевожильных месторождениях.

*Изучение мусковитов.* Мусковиты по результатам количественных анализов отличаются повышенным содержанием редких металлов (Ta, Nb, Be, Sn), редкощелочных элементов (Li, Rb, Cs) и являются надежным индикатором при прогнозировании и поисках редкometалльных пегматитовых месторождений (рис. 1). На примере Юбилейного пегматитового месторождения выяснено, что содержание тантала в мусковитах варьирует в широких пределах (от 20,05 до 153,1 г/т и до ураганного значения 1795 г/т). По литературным данным содержание тантала в слюдах составляет 15-177 г/т [3].

Кроме того, для рассматриваемой слюды характерны многие другие элементы-примеси (Fe, Mg, Ti, Mn, Zn, B, F, P и др.), отражающие состав рудоносных флюидов.

*Изучение биотитов.* Биотиты являются концентраторами сидерофильных и халькофильных элементов (Fe, Mn, Cu, Pb, Zn), в них также повышены содержания Zr, Sc, Ca, P, Th. Количество редких щелочей, по сравнению с мусковитами, значительно ниже (г/т): Li (59-1287), Rb (362-1430), Cs (9,9-113,4). Содержания редких металлов изменяются в значительных пределах и составляют (г/т): Ta (8,4-72,2), Nb (55,2-345,6), Sn (12,2-570,8), при этом более высокие значения указанных элементов фиксируются в биотитах редкometаллоносных гранитоидов по сравнению с малопродуктивными гранитами.

*Изучение кассiterитов.* Кассiterиты изучались из редкometалльно-пегматитовых и грейзеново-кварцевожильных месторождений. Установлены их существенные различия по цвету, форме кристаллов, содержанию элементов-примесей и другим признакам. Кассiterиты из грейзеново-кварцевожильного месторождения Чердояк представлены хоро-

шо ограниченными кристаллами призматически-дипирамидальной формы и темно-коричневой окраски, содержат в небольшом количестве Li (7,80-50,54 г/т), Cs (1,45-41,52 г/т), Be (0,40-1,42 г/т) и являются слаботанталоносными Ta (6-140 г/т). Напротив, касситериты Юбилейного пегматитового месторождения имеют преимущественно черную окраску, в них установлена высокая концентрация Ta (более 5975 г/т) и повышены содержания редких щелочей Li (12950 г/т) и Cs (217,7 г/т), а также Be (320,7 г/т).

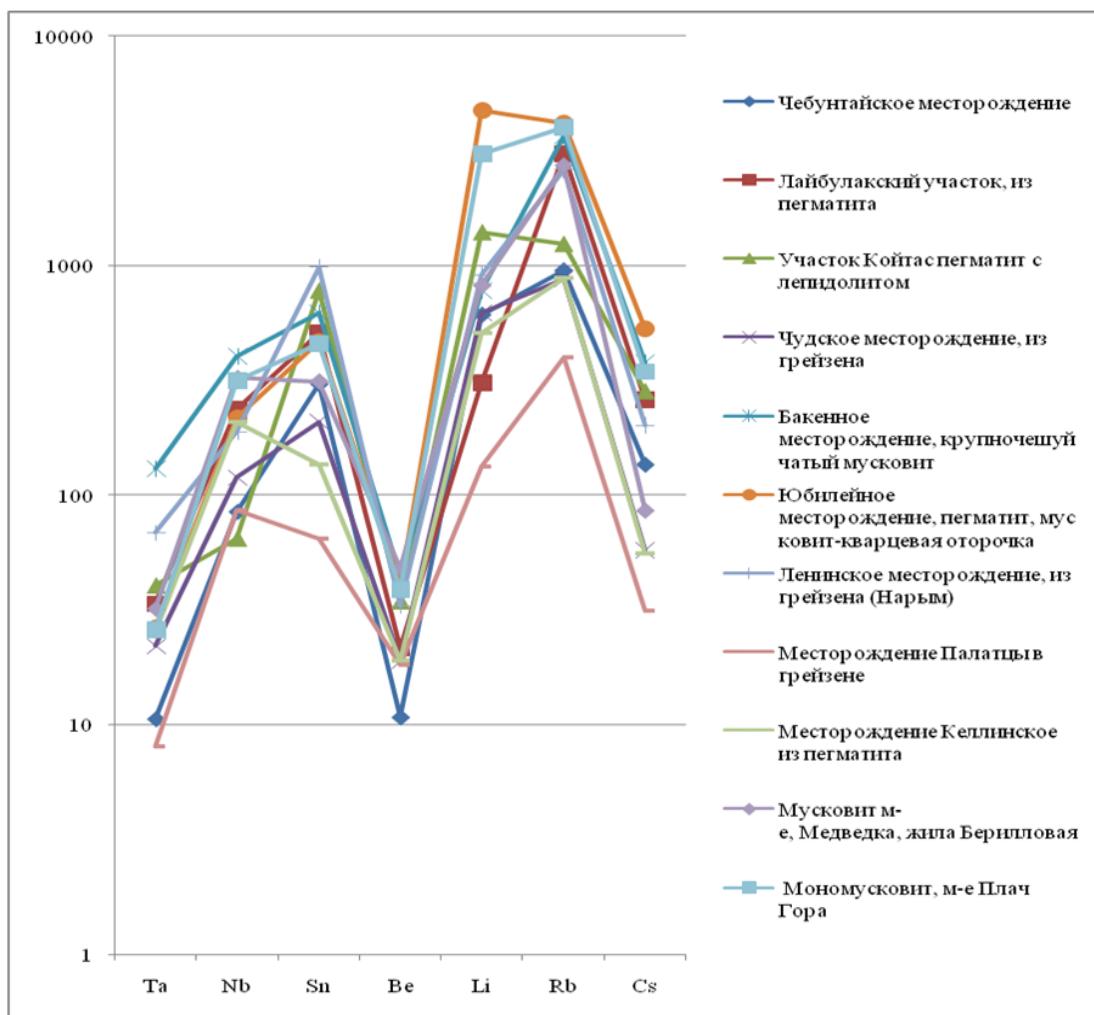


Рисунок 1 - Диаграмма распределения редких металлов в мусковитах месторождений Калбы (по масс-спектрометрическому анализу, г/т)

Поэтому касситериты также характеризуются индикаторными признаками редкометалльного оруденения различных генетических типов. Получены также РЭМ-изображения микровключений касситерита в пегматитах K-Na типа Юбилейного месторождения (рис. 2, 3).

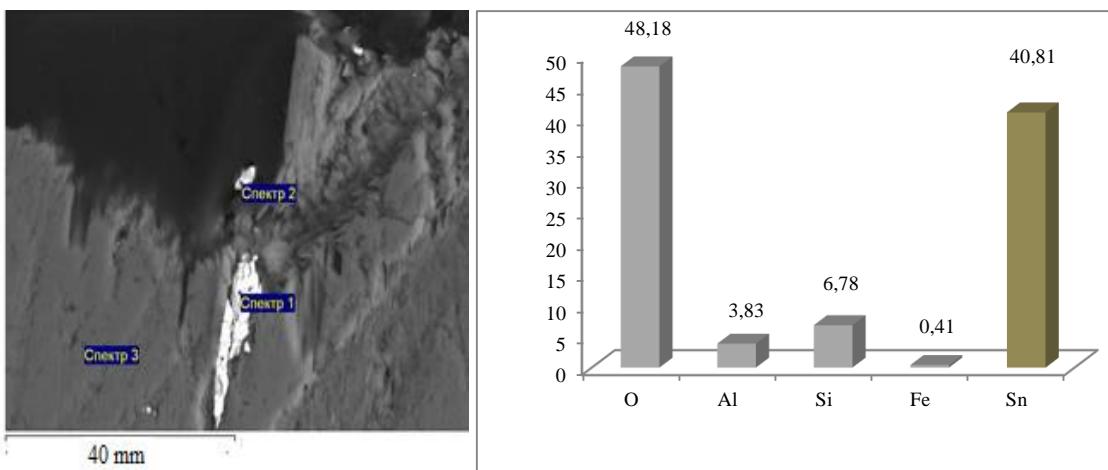


Рисунок 2 - Зерно кассiterита в пегматитах K-Na типа Юбилейного месторождения

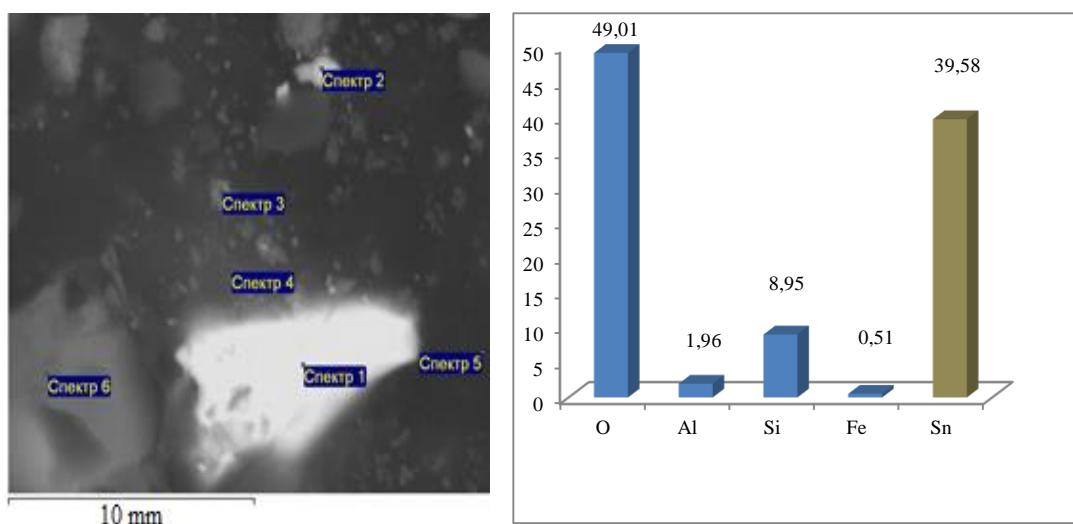


Рисунок 3 - РЭМ-изображение микровключения кассiterита в лепидолитовом грейзене Юбилейного месторождения

*Изучение танталитов.* Танталиты изучались в рудах Бакенного, Юбилейного, Кварцевого и других месторождений. По результатам масс-спектрометрии танталиты содержат высокие содержания Sn (до 53890 г/т) и W (до 2218 г/т) (табл. 1). Среди редкощелочных элементов повышенные значения имеют Li (до 340,9 г/т), Rb (до 1174 г/т) и Cs (до 162,3 1174 г/т). Кроме того, в танталитах отмечается концентрация Ti (до 5469 г/т) и Zr (1185-3459 г/т, аномальное значение 28140 г/т) и Hf (до 8887 г/т). На рис. 4 показано микровключение танталита неправильной формы, содержащее примеси W (5,8%); F (4,07%) и других элементов.

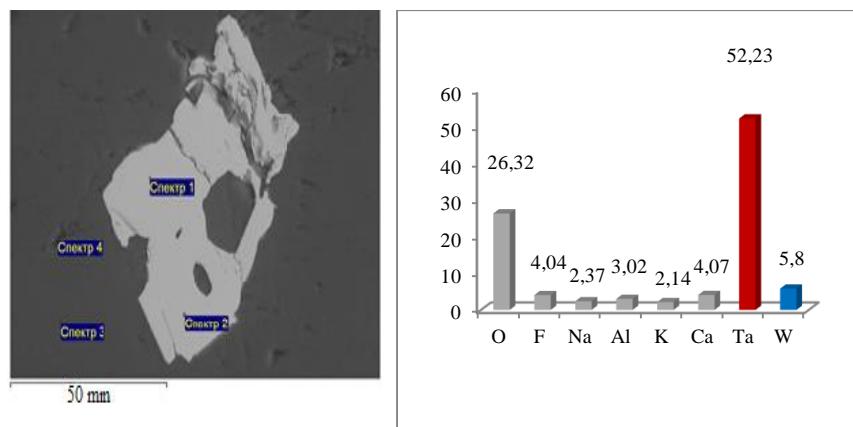


Рисунок 4 - РЭМ-изображение танталита в лепидолитовом грейзене Юбилейного месторождения

Таблица 1  
*Содержание редких щелочей и редких элементов в танталитах пегматитовых месторождений (масс-спектрометрический анализ, г/т)*

Месторождение, № пробы (минерал)	Li	Rb	Cs	Be	Sn	W	Ta	Nb
Юбилейное, 137 (танталит)	157,1	82,4	30,5	0,20	1840	213,4	177970	11230 0
Юбилейное, 2214-4 (танталит)	340,9	223,7	47,2	1,76	100230	240,9	221100	38880
Юбилейное, 50 (танталит)	276,6	78,2	48,9	0,76	53890	2144	349700	12581 0
Кварцевое, 11-Д-а (танталит)	225,1	1174	162,3	33,1	2253	213,4	177970	11230 0
Медведка, 9-а (танталит)	19,2	42,0	5,6	26,5	752,1	2218	98560	15210 0
Медведка, 4071-а (танталит)	11,8	16,8	2,54	1,20	683,4	339,2	24210	67310
Урунхай, 412 (колумбит)	76,7	63,4	5,6	31,8	669,5	736,7	87370	18210 0

В Асубулакском рудном поле имеются разные представления о генетической связи редкометалльных пегматитов Юбилейного месторождения с конкретными интрузивными фазами калбинского комплекса (с гранитами первой или второй фазы). Выполнялись высокочувствительные анализы на тантал этих гранитов. Выявлена повышенная танталоносность рудовмещающих гранитов I фазы калбинского комплекса (нормального ряда и контаминированных разностей).

По результатам нейтронно-активационного анализа содержание тантала в контаминированных гранитах в среднем составляет 24,3 г/т, в нормальных гранитах -11,8 г/т, а в среднезернистых мусковитизированных и турмалинизованных гранитах II фазы -3,34 г/т (табл. 2, 3). Полученные результаты определяют потенциальную рудоносность гранитоидов I фазы на тантал, которая реализовалась в образовании промышленного Юбилейного месторождения.

Таблица 2

*Содержание тантала в гранитоидах I фазы калбинского комплекса Калбы по результатам нейтронно-активационного анализа*

№ пробы	Породы	Месторождение	Та ( $n \cdot 10^{-5} \%$ )
П-13	Среднезернистые биотитовые порфировидные граниты	Фланги месторождения	16,3
П-14	Среднезернистые биотитовые порфировидные граниты	Фланги месторождения	33,0
П-19	Биотитовый гранит слабо мусковитизированный	Фланги месторождения	26,0
П-22	Хлоритизированный биотитовый гранит	Фланги месторождения	26,3
П-236	Среднезернистый биотитовый гранит	Фланги месторождения	30,1
П-227	Контаминированные граниты	жила Единая	18,9

Таблица 3

*Содержание тантала в гранитах II фазы калбинского комплекса Калбы по результатам нейтронно-активационного анализа*

№ пробы	Породы	Месторождение	Та ( $n \cdot 10^{-5} \%$ )
П-11	Средне-мелкозернистые мусковитизированные граниты	Юбилейное	31,2
П-15	Среднезернистые двуслюдянные граниты	Юбилейное	13,7
4967-3	Среднезернистые мусковитизированные турмалинизованные граниты	Юбилейное	48,6
4967-5	Среднезернистые мусковитизированные турмалинизованные граниты	Юбилейное	52,7
4967-9	Среднезернистые мусковитизированные турмалинизованные граниты	Юбилейное	73,1
4967-10	Среднезернистые мусковитизированные турмалинизованные граниты	Юбилейное	30,1
4816-7	Среднезернистые мусковитизированные турмалинизованные граниты	Юбилейное	38,2
4821-6	Среднезернистые биотитовые граниты	Дворянский массив	27,8
4821-8	Мелкозернистые биотитовые граниты	Дворянский массив	78,3
4132	Граниты II	Медведка	28,7
4228	Двуслюдянные граниты	Юбилейное	34,3
5607	Граниты II	Дворянское	23,2
5616	Граниты II	Алдай	8,6
5925	Граниты II	Алдай	5,0
4967-12	Мусковитизированные граниты	Юбилейное	23,0
4967-25	Мусковитизированные граниты	Юбилейное	39,1
4967-39	Мусковитизированные граниты	Юбилейное	18,0

Содержание тантала в мусковитах в общем находится на уровне промышленных значений в пегматитовых рудах (100-300 г/т). Устанавливаются аномальные значения тантала в мусковит-кварц-грейзеновых зонах пегматитовых жил Единой (1795 г/т), экзогрейзенах с зеленым мусковитом месторождений Медведка и Унгурсай.

На основании вышеизложенного можно сделать следующее заключение. В настоящее время в Восточно-Казахстанском регионе возникла острая проблема укрепления и развития собственной минерально-сырьевой базы редких металлов (Ta, Nb, Be, Li, Sn и др.) для действующих предприятий редкометалльного производства. Главной рудоносной структурой является Калба-Нарымская металлогеническая зона, в которой сосредоточены многие месторождения и рудопроявления пегматитового, альбитит-грейзенового, кварцево-жильного и других рудно-формационных типов, генетически связанных с пермскими гранитоидными формациями.

В результате обобщения анализа обширных геологических материалов по изучаемому региону наметились определенные геотектонические, геолого-петрологические и минералого-геохимические факторы и критерии оценки рудоносности гранитоидов кунушского, калбинского, монастырского и других комплексов с построением геологогенетических моделей в качестве научной основы для прогноза и поиска новых месторождений [4].

В Калба-Нарымской зоне установлена пространственная и генетическая связь редкометалльно-пегматитовых месторождений с гранитами калбинского комплекса ( $P_1$ ), однако имеются разные представления о родстве оруденения с конкретными интрузивными фазами или группами пород [5]. В этой связи была определена повышенная танталоносность среднекрупнозернистых порфировидных биотитовых гранитов и их контаминированных разностей I фазы (Ta 11,8-24,3 г/т) по сравнению со среднезернистыми мусковитизированными гранитами II фазы (3,34 г/т). Эти данные подтверждают потенциальную рудоносность гранитоидов I фазы калбинского комплекса, в которых локализовались главные промышленные пегматитовые месторождения (Бакенное, Юбилейное и др.).

В результате масс-спектрометрического анализа выявлена повышенная концентрация редких элементов (Ta, Nb, Sn) и редких щелочей (Li, Rb, Cs), которые представляются индикаторами редкометалльного рудообразования в различных типах гранитов и пегматитов. Кроме редких металлов, в породообразующих минералах установлены повышенные содержания многих других элементов (Fe, Mn, Ti, В, Р, Cu, Pb, Zn, Sb, Au и др.), отражающих специфику состава кристаллизующихся гранитоидных расплавов и объясняющих новообразование в редкометалльных рудах пирита, арсенопирита, антимонита, турмалина, апатита, сфалерита и других минералов.

Впервые по результатам электронной микроскопии изучено распределение элементов-примесей в рудных минералах (касситеритах и танталитах) и намечены их индикаторные признаки. Таким образом, на основе современных методов лабораторных исследований получена новая информация о редкометалльной специализации гранитоидов и уточнены минералого-геохимические критерии для прогнозно-металлогенических работ в Калбинском регионе.

#### Список литературы

1. Лопатников В.В. Магматизм и рудоносность Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана / В.В. Лопатников, Е.П. Изох, П.В. Ермолов и др. - М.: Наука, 1982. – 248 с.
2. Дьячков Б.А. Гранитоидные и рудные формации Калба-Нарымского пояса: Рудный Алтай / Б.А. Дьячков, Н.П. Майорова, Г.Н. Щерба и др. – Алматы: Фылым, 1994. - 208 с.
3. Dyachov B.A., Zimanovskaya N.A., Mataibayeva I. E. Rare metal deposits of the East-Kazakhstan geologic position and prognostic criteria // Open Journal of Geology, 2013, 3, 404-409.

4. Дьячков Б.А. Генетические типы редкometалльных месторождений Калба-Нарымского пояса. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2012. - 130 с.
5. Frolova O., Mataibaeva I., Gavrilenko O., Seltmann R., Shatov V. «World Applied Sciences Journal» 2014, The rare earth - rare metal deposit Verkhnee Espe, East Kazakhstan.

Получено 17.04.2019

---

УДК 669.049.42

**А.А. Набиева, Н.А. Куленова**

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

**С.В. Мамяченков**

Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРУБОГО ОБЕЗМЕЖИВАНИЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА FACTSAGE**

Данная работа посвящена изучению распределения примесных элементов, в частности мышьяка и меди на стадии грубого обезмеживания веркблея шахтной плавки. Целью исследовательской работы является изучение распределения мышьяка на стадии грубого обезмеживания веркблея шахтной плавки с использованием программного пакета для термодинамического моделирования металлургических процессов *FactSage*.

Бұл мақала қоспалы элементтердің, оның ішінде мышьяк пен мыстың, шахта пешінің жоғарғы қабығын жою мақсатында өңдеу кезеңінде өнімдердің таралуын зерттеуге арналған. Зерттеу жұмысының мақсаты – *FactSage* металлургиялық үрдістерді термодинамикалық үлгілеуге арналған бағдарламалық пакетті пайдалана отырып шахталық балқытудың жоғарғы қабатында қатты мышьяктың таралуын зерттеу.

*This article is dedicated to studying the distribution of impurity elements in particular of arsenic and antimony at the stage of rough decopperization of the blast furnace's lead bullion. The aim of the research work is to study the distribution of arsenic during rough decopperization of blast furnace's lead bullion using the program for thermodynamic modelling of metallurgical processes FactSage.*

**Ключевые слова:** *FactSage*, термодинамическое моделирование, грубое обезмеживание, распределение мышьяка.

На сегодняшний день повсеместно в мире наблюдается ухудшение качества сырья, поступающего на металлургические предприятия [1]. Запасы относительно легко перерабатывающегося сырья с высоким содержанием основных компонентов и низким содержанием примесей истощаются и на рынок цветной металлургии поступает всё больше и больше сырья со штрафуемым содержанием примесных составляющих [2]. Одним из основных примесных компонентов в рудах цветных металлов является мышьяк, в связи с чем переработка свинцовых концентратов невозможна без учёта влияния данной примеси на технологический процесс, а также без учёта её разрушающего эффекта на плавильные агрегаты. В этой связи на сегодняшний день крайне важно создание прогнозируемых технологических процессов путём создания моделей для предварительного рассмотрения различных сценариев ведения процесса и оперативного исключения рисков. Прогресс в области компьютерных вычислительных программ позволяет на сегодняшний день создавать инструменты, которые значительно ускоряют процессы производства сложнейших расчётов. В современной металлургии подобными инструментами являются программные обеспечения, позволяющие на основе минимизации энергии Гиббса создавать модели для расчёта параметров ведения различных процессов. Одним из таких инструментов для моделирования металлургических процессов является *FactSage*. *FactSage* яв-

ляется совместной работой F\*A\*C\*T Group (Thermfact Ltd./CRCT, Монреаль) и ChemSage/ChemApp Group (GTT-Technologies, Германия) [3].

Целью исследовательской работы является изучение распределения мышьяка на стадии грубого обезмеживания веерблея шахтной плавки с использованием программного пакета для моделирования металлургических процессов Фактсайдж. В соответствии с целью исследовательской работы поставлены следующие задачи:

- создание достоверной модели процесса грубого обезмеживания чернового свинца с использованием функции Equilib программного продукта для моделирования металлургических процессов FactSage;
- расчёт распределения мышьяка при варьируемых содержаниях меди и мышьяка в веерблее шахтной плавки;
- анализ данных по распределению мышьяка с получением линейных уравнений зависимости распределения мышьяка от содержания мышьяка и меди в веерблее.

Моделирование процесса грубого обезмеживания произведено с использованием программного продукта для моделирования металлургических процессов Фактсайдж. В основу программы заложен расчёт термодинамических уравнений с использованием методов минимизации свободной энергии Гиббса. Для соединений свободная энергия Гиббса зависит от температуры и давления, для растворов от температуры, давления и состава. При известном значении свободной энергии Гиббса для системы можно рассчитать остальные термодинамические характеристики, например: энталпия, энтропия, теплотворная способность и т.д. Так как процесс просчитывается в условиях термодинамического равновесия системы, то при создании модели необходимо установить исходные данные для температуры, массы реагируемых веществ, давления и т.д., отсюда уже можно будет построить диаграммы, тепловые и материальные балансы, определить стабильность полученных фаз.

Процесс грубого обезмеживания чернового свинца основан на снижении растворимости меди в свинце с уменьшением температуры. При охлаждении чернового свинца с 700-900 °С (температура свинца при выходе из шахтной печи) до 550-600 °С в наборном котле образующиеся кристаллы меди, её соединения и твёрдые растворы с другими примесями, обладающие меньшей плотностью, как более легкие всплывают на поверхность, образуя сухие медистые шлиkerы.

В процессе создания модели были произведены следующие операции:

- Выбрана функция Equilib, позволяющая создавать модель реального металлургического процесса в условиях термодинамического равновесия.
- Введены данные по типичному элементному составу веерблея с соответствующими массами: 90 т As; 489 т Cu; 124 т Sb, 10 т S; 16686 т Pb. При создании модели не были учтены остальные компоненты веерблея, так как при грубом обезмеживании они не влияют на распределение мышьяка (например Bi, Te, Se, Au, Ag и т.д.).
- Установлена исходная температура веерблея шахтной плавки и для моделирования процесса обезмеживания установлена конечная температура охлаждения в 550 °С. Давление - 1 атм.
- Выполнен анализ полученных результатов и сравнение их с реальными данными завода, полученными из базы данных LIMS, и технических отчётов.
- С использованием корректной модели процесса грубого обезмеживания веерблея шахтной плавки изучено распределение мышьяка и меди в производственные фазы при изменении их содержания с исходной загрузкой.

Согласно фазовой диаграмме состояния As-Cu (рис. 1), полученной в программе

Фактсайдж, можно наблюдать, что при условиях ведения процесса грубого обезмеживания ( $\text{As}/(\text{Cu}+\text{As})=0,15$ ), описанных выше, мышьяк ликвирует на поверхность в виде соединения с медью  $\text{Cu}_3\text{As}$  (арсенид тримеди).

Согласно полученной модели процесса грубого обезмеживания меди при увеличении исходной загрузки мышьяка, распределение мышьяка между черновым свинцом и сухими медиистыми шликерами остается на прежнем уровне (более 90 % мышьяка переходит в сухие медиистые шлиkerы), и соответственно увеличивается содержание мышьяка в обоих продуктах. Результаты по распределению основных компонентов по продуктам грубого обезмеживания чернового свинца при варыровании исходной загрузки мышьяка приведены на рис. 2.

Согласно полученной модели процесса грубого обезмеживания меди при увеличении исходной загрузки меди с векрблеем шахтной плавки распределение мышьяка между производственными фазами изменяется, а именно больше мышьяка переходит в сухие медиистые шлиkerы. Связано это с высоким сродством мышьяка к меди, то есть мышьяк связывается с медью в  $\text{Cu}_3\text{As}$  (домейкит) и в форме этого соединения практически полностью может перейти в сухие медиистые шлиkerы.

В соответствии с графиком (рис. 3) можно наблюдать, что при увеличении содержания меди в варкблее содержание мышьяка в черновом свинце снижается.

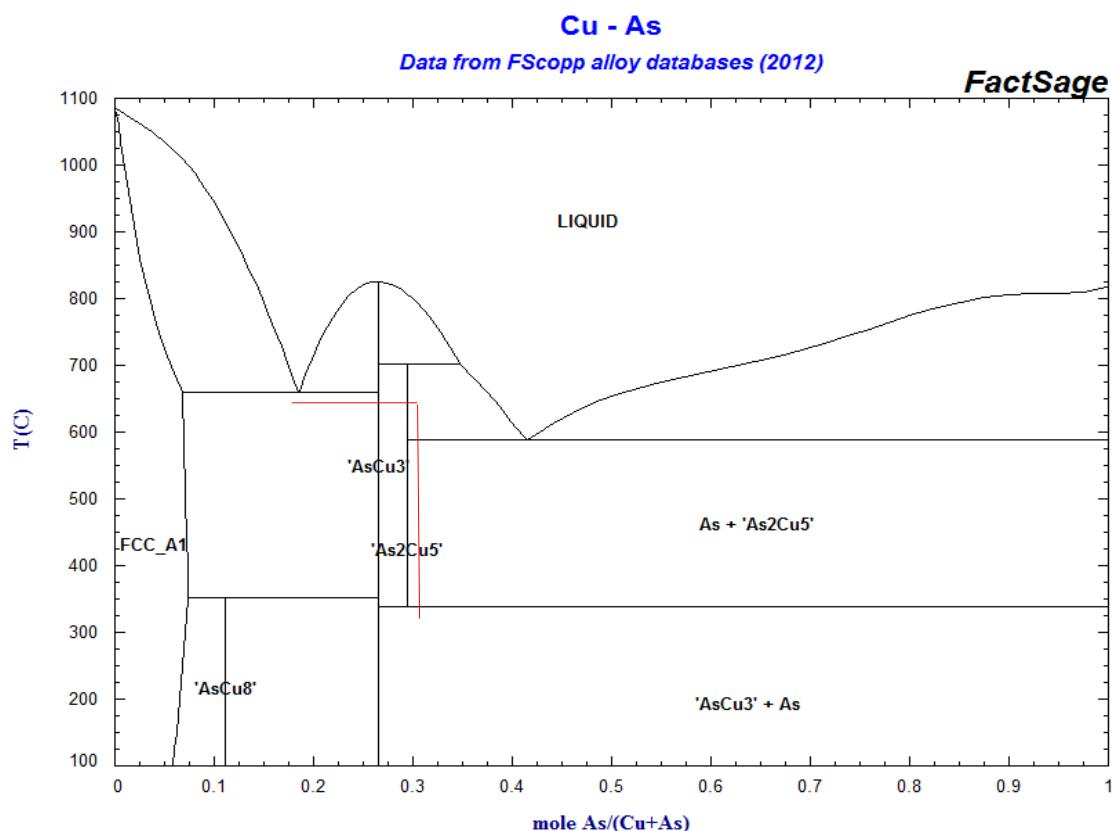


Рисунок 1 - Фазовая диаграмма состояния As-Cu, выгруженная из базы данных программы FactSage

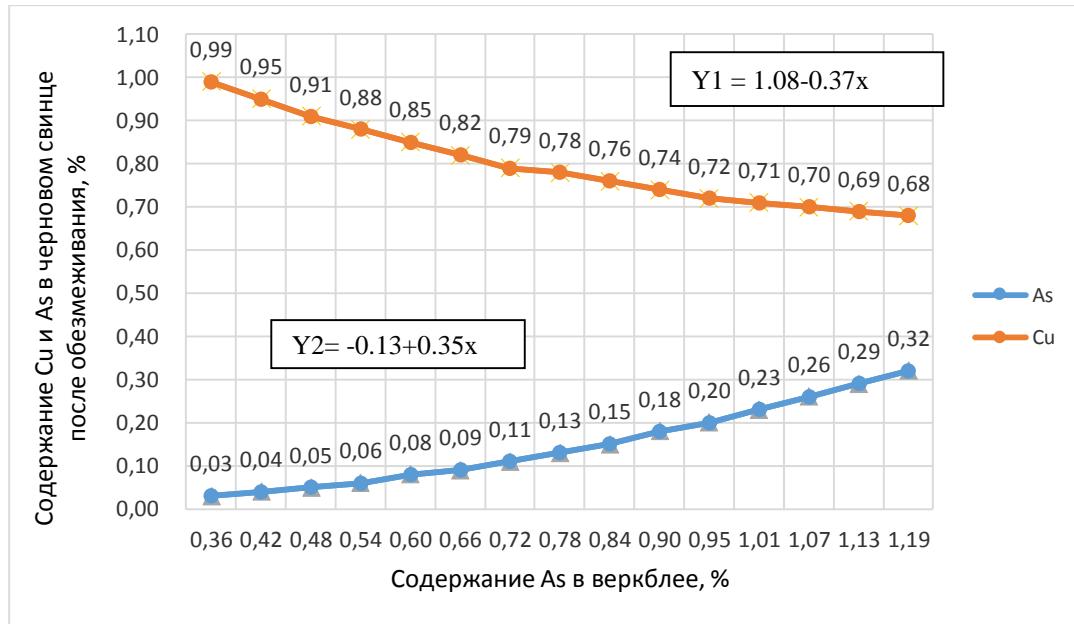


Рисунок 2 - Изменение содержания мышьяка и меди в черновом свинце в зависимости от содержания мышьяка в веркблее шахтной плавки: Y1 – содержание меди в черновом свинце после обезмеживания, %; Y2 – содержание мышьяка в черновом свинце после обезмеживания, %; x – содержание мышьяка в веркблее, %;

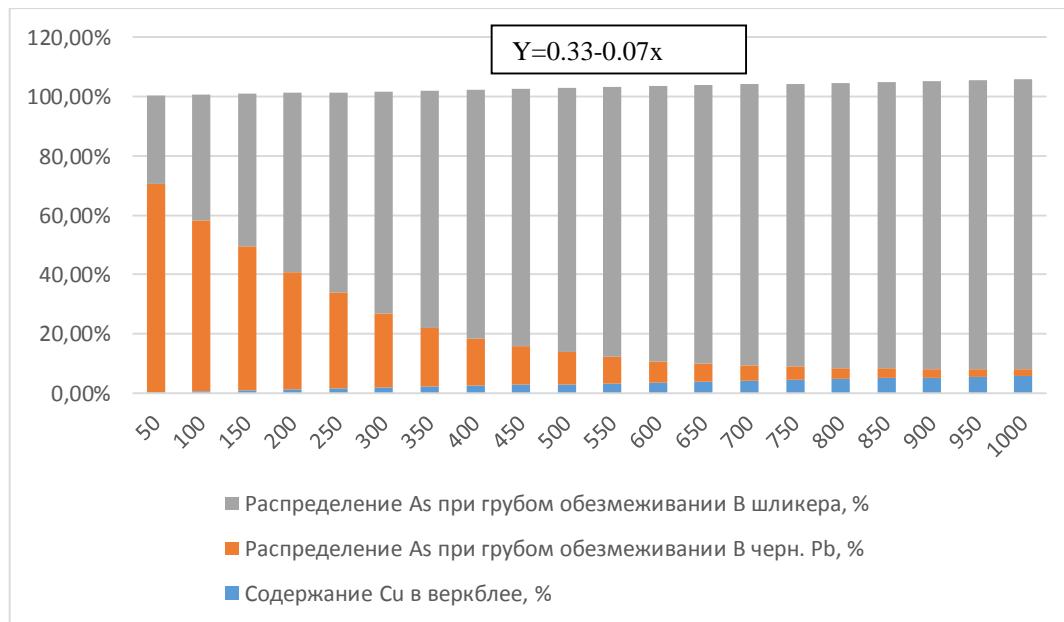


Рисунок 3 - Распределение мышьяка в черновой свинец и сухие медиистые шлихеры в зависимости от содержания меди в веркблее шахтной плавки: Y - содержание мышьяка в черновом свинце после обезмеживания, %; x – содержание меди в веркблее, %;

С использованием программного продукта для термодинамического моделирования Фактсейдж была создана модель процесса грубого обезмеживания веркблея шахтной плавки. На базе данной модели было изучено распределение мышьяка и меди между продуктами процесса грубого обезмеживания при варировании их исходной загрузки с веркблеем шахтной плавки. Были получены следующие результаты:

- Определена зависимость распределения мышьяка и меди в черновой свинец и сухие медистые шлиkerы от загрузки мышьяка с веркблеем шахтной плавки. При увеличении загрузки мышьяка с веркблеем шахтной плавки на 0,06 % As прогнозируется увеличение содержания мышьяка в черновом свинце после процесса обзмеживания на ~0,02 % As и снижение содержания меди – на ~0,02 % Cu;

- Определена зависимость распределения мышьяка в черновой свинец и сухие медистые шлиkerы от загрузки меди с веркблеем шахтной плавки. При увеличении содержания меди в веркблее шахтной плавки на 0,3 % Cu прогнозируется снижение содержания мышьяка в черновом свинце после процесса обзмеживания на ~0,03 % As.

#### Список литературы

1. <http://www.mining.kz/component/k2/item/85-sostoyanie-mineralno-syrevoj-bazy-kazakhstana>.
2. Копылов Н.И. Проблемы мышьяксодержащих отвалов // Отв. ред. Г.А. Толстиков; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т химии твёрдого тела и механохимии. – Новосибирск : Акад. изд-во «Гео», 2012. – 182 с.
3. <http://www.gtt-technologies.de/faq-page>.

Получено 17.04.2019

---



---

ӘОЖ 87. 21. 09

**Г.Е. Саспугаева, Ж.Е. Кенес, Н.Е. Рамазанова, А.С. Тулебекова**  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ.

#### ҚАЗФОСФАТ ӨНДІРІСІ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫНЫҢ ТОПЫРАҚ ҚАБАТЫНА ӘСЕРІН АНЫҚТАУ

Мақалада «Қазфосфат» ЖШС аумағындағы жердің ауыр металдар элементтерімен ластану деңгейі қарастырылады. Бұл деректер ауыр металдар элементтерінің топыраққа әсерін анықтау үшін қажет.

В статье рассматривается уровень загрязнения почв, прилегающих к территории ТОО «Казфосфат», тяжелыми элементами. Эти данные необходимо для определения влияния тяжелых элементов на почву.

*The article deals with the level of pollution by heavy elements of the earth adjacent to the territory of Kazphosphate LLP. These data are necessary to determine the effect of heavy elements on the soil.*

**Түйін сөздер:** фосфор, ауыр металлдар, қалдықтар, атомдық-абцорбциялық зерттеу әдісі.

Қазіргі уақытта қоршаган ортаны өндіріс қалдықтарымен ластаудан сақтау бүкіл адамзаттың басты және өзекті мәселесі болып отыр. Себебі, ғылыми-техникалық

прогрестің тез қарқындаған даму салдарынан бөлінген түрлі қосылыстардың әсері табиғатқа жылдан-жылға арта түсіде Қоршаған табиғи ортада зиянды қалдықтардың түзілуінің негізгі көздерінің бірі – химия өнеркәсібі екені белгілі. Соның ішінде фосфор өндірісінің қалдықтары табиғи ортага, адам мен жануарлар ағзаларына және өсімдіктер дүниесіне зиянды әсерін тигізеді [1].

Фосфор зауытындағы фосфордың ерігіш қосылыстарының таралуы, қалдықтардың және зиянды тастандылардың едәуір мөлшерде түзілуі маңызды мәселе болып келеді. Фосфор өндірісінің шығарындылары қоршаған ортага теріс әсер етеді.

Жер ресурстарының жай-күйіне теріс әсер ету. Қазіргі уақытта фосфат өнеркәсібінің қалдықтары шамамен 300 гектар аумақты алады. Жамбыл облысы Тараз қаласындағы Жана Жамбыл фосфор зауыты қоршаған ортанды ластаудың ен ірі көзі болып табылады. Зауытта халық шаруашылығына аса қажетті сары фосфор, терминалық фосфор қышқылы, триполифосфат натрий, гексаметафосфат натрий және феррофосфор өндіріледі. Қазіргі уақытта өндірістің табиғи ортамызға әкелетін зардабы зор [2].

Топырақ және су үлгілеріне анализ жасау. Топырақ үлгілерін дайындау:

- 1) үлгіні алу әдістерін жалпы менгеру;
- 2) топырақ үлгілерін зерттең талдауга дайындау;
- 3) топырақтағы ауыр металдар мөлшерін анықтау;
- 4) алынған жұмыс қорытындысына баға беру.

Топырақ үлгілерін алу ГОСТ 17.4.3.01 сәйкес орындалды. Табиғатты қорғау. Топырақ. Сынамаларды іріктеудің жалпы талаптары .

Үлгілерді алу жолы: материал үлгілерін жинау 2018 жылы наурыз айында Тараз қаласында етті. Топырақ үлгілерін жалпы қабылданған әдістеме бойынша 5 жерден алынды. Үлгілер 5 зерттеу аймағы бойынша жиналды.

1. Зауыттың кен қалдығы маңы 1000 м.
2. Зауыттың маңы 500 м.
3. Зауыттың қалдық сақтау орны маңы 300 м.
4. Қала орталығы ІІ. Сүлейменов пен Ж. Жабаев көшелерінің қиылышы
5. Қаланың оңтүстік-батысындағы трасса маңы.

Үлгілерді жинау барысында аймақтық желдің бағыттары, жауын-шашын мөлшері анықталды. Топыракты іріктеу келесі жолмен жүзеге асырылды: таңдалған участкеден конверт әдісімен участкенің бұрыштарында және ортасында 5 үлгіден тұратын аралас үлгі таңдалды.

Үлгілер жерден 20 см тереңдікten күрекпен алынды. Жаңадан алынған материалдардың салмағы 1 кг жетті.

Алынған топырақ үлгілерін зертханаға апарып, қағаз бетіне төгіп, оның құрамындағы тас, тамыр секілді бөгде қосылыстардан тазартып алып топыракты 2-3 сағатқа қалдырып кептірдік. Жер үсті сулары және топырақ үлгілерінен ауыр металдардың концентрацияларын анықтау және нәтижелерді өндеу ЖШС «Қазфосфат» минералды тыңайтқыштар зауытының өндірістік-санитарлық зертханасында зерттелінді [3].

Алынған үлгілерді зерттеу мақсатында қапшықтарға салып әкелінді. Топырактың құрамындағы бөгде қосылыстардан толық тазартып алдық.

Зерттеу барысында атомдық сініру спектрометрі қолданылды. Ауыр металдарды анықтау «AAS IN» атомдық жұту спектрометрі арқылы жүзеге асырылды. Атомдық жұту спектрометрінің жалын температурасы 1400 °C құрайды. Атомдық сініру спектрометріне үлгілерді талдау мынадай түрдө жүзеге асырылды.



1-сурет – Зерттеу аймағы бойынша 5 жерден жиналған топырақ үлгілері

Ол үшін массасы 20,0 г топырақ үлгісін конустық ыстыққа төзімді ыдыста орналастырып, содан соң 15 мл қойылтылған азот қышқылын құяды. Үлгінің бетін толық ашылғанға дейін қайта қыздырып қайнатады. Одан кейін ерітіндін шамасын 2,5 мл-ге дейін кептіріп буландырады, 5-10 мл тазартылған су қосады, оның ішіндегі тұздар еріп кеткенге дейін қыздырып, колбаның ішіндегін ерімеген қалдықтармен қоса 15 мл – өлшеуіш колбага ауыстырып, тазартылған су құяды.

Жалынмен өртөнгенде атомдар газ тәріздес күйде болады. Сонымен қатар, жарық монокромометрде ыдырайды, оның шығуында белгілі бір элементке тән аналитикалық сзық шығады.

Атомдық-абсорбциялық әдіспен металдарды анықтауда элементтерді сзықтық резонанстық өте сезімтал сініргіш толқын ұзындықтары қолданылады.

Zn – 213,9 нм;

Pb - 207,0 нм;

Cu - 314,7 нм;

Cd - 218,8 нм;

Топырақ құрамындағы металдардың концентрациясы (С), мг/кг келесі формула бойынша анықталды:

$$C = a * V * k / p$$

Мұндағы: С – топырақ құрамындағы металдардың концентрациясы; а - ерітіндідегі элементтің концентрациясы, мг/л; V - ерітіндінің көлемі, мл; k - үлгі коэффициенті; p - үлгі салмағы, мл;

Топырақ және су үлгілерінің нәтижесін талдау. Топырақ және су құрамындағы ауыр металдардың мөлшерін зерттеу 2018 жылдың наурыз айында жүргізілді. Атомдық-абсорбциялық зерттеу әдісі арқылы берілген аймақтағы топырақ, су үлгілері құрамындағы ауыр металдардың (Pb, Cu, Cd және Zn) мөлшері анықталды. 2018 ж. наурыз айында ЖЖФЗ санитарлық қорғау аймағында және қала ішінен алынған топырақ үлгілерін, ЖШС «Қазфосфат» өндірістік-санитарлық зертханасында атомдық-абсорбциялық спектрометр AAS IN зерттеу құралымен топырақ құрамындағы ауыр металдар концентрациясын (1-кесте) анықталды.

1-кесте

*Топырақ құрамындағы ауыр металдардың мөлшері*

Ауыр металдар	Pb/Қорғасын, мг/кг	Cd/Кадмий, мг/кг	Cu/Мыс, мг/кг	Zn/Мырыш, мг/кг
Зауыттың кен қалдығы маңы (1000 м)	188,0±0,8	0,9±0,001	92,0±0,4	149,0±0,5
Зауыттың маңы (500 м)	227,0±0,2	1,30±0,005	108,0±0,9	179,0±0,4
Қалдық сақтау орны (300 м)	284,0±0,8	2,0±0,001	138,0±0,6	213,0±0,9
Сүлейменов және Жамбыл көшелерінің қылышы	54,0±0,4	0,35±0,001	29,0±0,7	29,0±0,9
Қала трасса маңы	50,0±1,2	0,4±0,001	26,0±0,4	27,0±0,6
ШРК (мл/кг)	32,0	0,5	33,0	23,0

Тараз қаласы мен фосфор зауытының санитарлы қорғау аумағынан алынған топырақ үлгілерінің құрамындағы ауыр металдар мөлшерін анықтау барысында, зерттеу нәтижелерінің барлық үлгілерде мырыш пен қорғасын концентрациясы көп мөлшерде кездескенін көрсетті. Зауыттың санитарлы қорғау аймағында қорғасынның концентрациясы 188,0-284,0 мг/кг мөлшерімен ШРК-дан 5,8-8,9 есе асты, ал мырыш концентрациясы 149,0-213,0 мг/кг мөлшерімен ШРК-дан 6,5-9,3 есе асқандығын байқауға болады. Сүлейменов пен Жамбыл көшелерінің қылышында қорғасын концентрациясы 54,0 мг/кг ШРК-дан 1,7 есе асқан, ал мырыш концентрациясы 29,0 мг/кг мен ШРК-дан 1,3 есе асуын байқауға болады. Қала трасса маңында қорғасын 50,0 мг/кг ШРК-дан 1,6 есе, мырыш 27,0 мг/кг ШРК-дан 1,2 есе асты.

Осындай көрсеткіштер Тараз қаласындағы фосфор зауыты қоршаған ортаны мырыш және қорғасынмен ластайтын негізгі көзі екені анықталды. Өндірістің санитарлы қорғау аймағында кадмий 0,9-2,0 мг/кг ШРК-дан 1,8-4 есе, ал мыс 92,0-138,0 мг/кг ШРК-дан 2,8-4,2 есе асты. Қала трасса маңы, Сүлейменов пен Жамбыл көшелерінің қылышында кадмий 0,35-0,4 мг/кг, ал мыс концентрациясы 29,0-26,0 мг/кг ШРК-дан аспағанын байқауға болады. 2017 жылдың көктем мезгіліндегі Тараз қаласының түрлі аудандарынан алынған топырақ сынамасында хром концентрациясы 0,2-2,8 мг/кг, мырыш – 10,8-27,4 мг/кг, мыс – 0,3-3,5 мг/кг қорғасын – 16,3-84,4 мг/кг, кадмий – 0,2-0,3 мг/кг шамасында өзгерді.

Санитарлы қорғау аймағында қорғасын концентрациясы 188,0-284,0 мг/кг ШРК-дан 5,8-8,9 есе асты, ал мырыш 149,0-213,0 мг/кг мөлшерімен ШРК-дан 6,5-9,3 есе асқандығын байқауға болады. Сүлейменов пен Жамбыл көшелерінің қылышында қорғасын 54,0 мг/кг ШРК-дан 1,7 есе асқан, ал мырыш 29,0 мг/кг мен ШРК-дан 1,3 есе асуын байқауға болады. Қала трасса маңында қорғасын 50,0 мг/кг ШРК-дан 1,6 есе, мырыш 27,0 мг/кг ШРК-дан 1,2 есе асты.

Осы дерек көздерінен Тараз қаласындағы фосфор зауыты қоршаған ортаны мырыш және қорғасынмен ластайтын негізгі көзі екенін байқауға болады. Өндірістің санитарлы қорғау аймағында кадмий 0,9-2,0 мг/кг ШРК-дан 1,8-4 есе, ал мыс 92,0-138,0 мг/кг ШРК-дан 2,8-4,2 есе асты. Қаладағы трасса маңы, Сүлейменов пен Жамбыл көшелерінің қылышында кадмий 0,35-0,4 мг/кг, мыс 29,0-26,0 мг/кг ШРК-дан аспағанын байқауға болады.

## Әдебиеттегі тізімі

- Айменов А.Т. Панасенко И.М. Охрана окружающей среды и природопользования. – Тараз, 2010. – С. 67-70.

2. Сагындыков А.А. Оценка характера масштабов и негативного воздействия деятельности завода минеральных удобрений на окружающую среду / А.А. Сагындыков, М.Р. Баймаханов, А.Т. Киргизбаев // Матер. Междунар. науч.-практ. конф. «Научно-образовательный потенциал нации и конкурентоспособность страны». – Тараз, 2008. – 523 с.
3. ЖШС «Қазфосфат» ЖЖФЗ 2017 ж. Шекті рұқсат етілген шығарындылар нормативтерінің жобасы. – Тараз, 2017. – 22-23 б.

Қабылданды 17.04.2019

---



---

УДК 87.19.81

**Г.Е. Саспугаева, Н.М. Махамбетова, Н.Е. Рамазанова, А.С. Тулебекова**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

*В статье рассматривается состояние поверхностных вод Южно-Казахстанской области. Представлены результаты состава сбрасываемых сточных вод, показано загрязнение поверхностных вод в результате хозяйственной деятельности человека, оценено качество водных ресурсов данного региона.*

*Мақалада Оңтүстік Қазақстан облысының жер үсті суларының жай-күйі қарастырылады. Төгілетін сарқынды сулар құрамының нәтижелері ұсынылды, адамның шаруашылық қызметі нәтижесінде жер үсті суларының ластануы көрсетілді, осы өнірдің су ресурстарының сапасы бағаланды.*

*This article presents data on the state of surface waters, presents the results of the composition of wastewater discharged, shows how pollution of surface waters occurs because of human economic activity and assesses the quality of water resources according to the criteria in force in the Republic of Kazakhstan.*

**Ключевые слова:** водохранилище, индекс загрязнения воды (ИЗВ), подземные воды, предельно допустимая концентрация (ПДК).

Южно-Казахстанская область является одним из крупных регионов республики, ее территория составляет 117,3 тыс. кв. км. В области имеется много мелких, в основном, соленых озер. В Южно-Казахстанской области основными поверхностными источниками являются реки Сырдарья, Келес, Бадам, Арысь, Боген, Сайрам су.

В Южно-Казахстанской области имеется 118 малых рек общей протяженностью свыше 2200 км, 25 озер и 30 водохранилищ объемом более 110 млн м<sup>3</sup>.

Крупная река области - Сырдарья (общая длина 2219 км, в пределах Казахстана - 1400 км), с притоками - Куркелес (98 км), Келес (241 км), Арыс (378 км), Боген (164 км) и других более мелких, стекающих с южного склона хребта Карагатай, а также Шу (1186 км, в пределах Казахстана 800 км). Имеется много мелких, в основном, соленых озер. Крупные из них Акжайын (48,2 км<sup>2</sup>), Акжар (7,2 км<sup>2</sup>), Калдыколь и другие [1].

Река Сырдарья – главная водная артерия области. В верхней своей части Сырдарья протекает по территории Кыргызстана, Таджикистана, Узбекистана, где используется на нужды сельского хозяйства, промышленности, населения и поступает на территорию нашей республики уже загрязненной органическими веществами, солями, нефтепродуктами.

Река Бадам является левым притоком реки Арысь и берет свое начало со склонов Ба-

дамских гор. Значительная часть русла реки Бадам проходит в галечниках и имеет большие потери на фильтрацию. В бассейне реки имеется 2 водохранилища: Тогузское на реке Тогуз и Бадамское. На всем протяжении из реки Бадам и из ее притоков вода забирается на орошение и хозяйственные нужды. Загрязнение реки происходит вследствие смыва речной долины, распаханных земель с территорий населенных пунктов, заброшенных животноводческих ферм, промышленных площадок.

К наиболее крупным относятся: Шардаринское водохранилище на реке Сырдарья ( $F = 400 \text{ км}^2$ ,  $V = 5,2 \text{ млрд м}^3$ ), Коксарайское ( $V = 3,0 \text{ млрд м}^3$ ), Богенское на реке Боген ( $F = 65 \text{ км}^2$ ,  $V = 377,0 \text{ млн м}^3$ ), Бадамское на реке Бадам ( $F = 4,7 \text{ км}^2$ ,  $V = 61,5 \text{ млн м}^3$ ), Кошкорганское на реке Карашик.

Река Кошкар-ата берет свое начало с родников в районе Шымкентского железнодорожного вокзала и протекает через густонаселенные районы города. Река частично загрязняется за счет неорганизованного сброса бытового мусора жителями прибрежной зоны.

Река Арысь является вторым притоком реки Сырдарья на территории области, используется для централизованного водоснабжения г. Арысь на сельскохозяйственное орошение. Основной проблемой использования водных ресурсов является вопрос рационального использования имеющихся водных ресурсов.

Важной проблемой для решения этой задачи является неудовлетворительное техническое состояние водохозяйственных систем, так как за последние 8-10 лет ремонтно-восстановительные работы мелиоративных систем не проводились, вследствие чего в настоящее время одна треть водохозяйственных объектов находится в неудовлетворительном состоянии, поэтому коэффициент полезного действия оросительных систем области не превышает 0,5-0,54.

Из-за низкого технического состояния плотин водохранилищ наполнение осуществляется на 2/3 от проектного объема.

Кроме того, после передачи обязанностей по ведению учета водозаборов из малых рек из ведения районных управлений по водохозяйственным системам непосредственно хозяйствам и последовавшего за этим периодом разгосударствления хозяйств, превращенные во внутрихозяйственные водоисточники малые реки остались бесхозными, вследствие чего стало ухудшаться их состояние и охрана этих водоисточников [2].

Характеристика химического состава бассейна реки Сырдарья осуществляется по данным 13-ти гидропостов, в т.ч. на реке Сырдарья расположено семь гидропостов. На участке в районе с. Кокбулак вода поступает с большим количеством загрязняющих веществ.

Основными загрязняющими веществами являются сульфаты, магний, медь и фенолы, среднегодовые концентрации этих веществ превышали норму от 1,6-5,6 ПДК. Максимальный уровень загрязнение бассейна р.

Сырдарья наблюдается в весенний период. Индекс загрязнения воды (ИЗВ) относится к 3 классу как умеренно-загрязненная [3].

В виду того, что данное загрязнение происходит на протяжении ряда лет, в целях дальнейшего предупреждения трансграничного загрязнения реки Сырдарья необходимо решение данного вопроса на межправительственном уровне между Республиками Казахстан и Узбекистан. Основными загрязнителями поверхностных и подземных вод являются предприятия цветной металлургии, нефтехимической, химической, легкой и пищевой промышленности, сельское хозяйство.

Сельское хозяйство является одной из ключевых отраслей Южно-Казахстанской области, обеспечивающей население важнейшими продуктами питания.

Таблица 1

*Информация о фактических объемах сбросов в Южно-Казахстанской области*

Информация о фактических объемах сбросов	За отчетный период	За предыдущий год	
Промышленные сбросы	Объем загрязняющих веществ тыс. тонн	13100,0	14000,0
	Объем водоотведения тыс. м <sup>3</sup>	3,34	4,62
Хозяйственно-бытовые сточные воды	Объем загрязняющих веществ тыс. тонн	17196,0	37320,0
	Объем водоотведения тыс. м <sup>3</sup>	10,0	12,2
Сельскохозяйственные сбросы: КДС коллекторно-дренажные стоки	Объем загрязняющих веществ тыс. тонн	22105,0	-
	Объем водоотведения тыс. м <sup>3</sup>	17,17	-
Аварийные и не разрешенные сбросы	Объем загрязняющих веществ тыс. тонн	1099,0	0,284
	Объем водоотведения тыс. м <sup>3</sup>	0,35	53059,0
Всего (все вышеперечисленные сбросы)	Объем загрязняющих веществ тыс. тонн	53500,0	17,104
	Объем водоотведения тыс. м <sup>3</sup>	30,86	-

Таблица 2

*Отрасли, осуществляющие специальное водопользование в ЮКО*

Отрасль	Специальное водопользование, млн м <sup>3</sup>	
	Водопотребление	Водоотведение
Жилищно-коммунальное хозяйство	24,31	3,26
Промышленность	3,26	0,04
Сельское хозяйство	3 387,42	21,90

Сельскохозяйственная отрасль экономики, осуществляющая специальное водопользование в Южно-Казахстанской области, оказывает влияние на качество поверхностных вод. В орошаемом земледелии основными источниками загрязнения являются коллекторно-дренажные воды с сельскохозяйственных полей, которые относятся к категории нормативно-чистых. Фактически же основная часть их загрязнена пестицидами и остатками минеральных удобрений [3].

Таблица 3

*Состояние качества поверхностных вод ЮКО*

Наименование водного объекта	Индекс загрязнения			Класс качества
	2013	2014	2015	
р. Сырдария	2,38	2,49	2,50	3
р. Келес	2,12	2,36	2,19	3
р. Бадам	1,62	1,83	1,54	3
р. Арыс	1,60	1,42	1,50	3
р. Боген	0,80	0,77	0,95	2

По величине ПДК рыб основными загрязняющими веществами рек Сырдарья, Келес, Бадам и Арыс являются сульфаты (кратность превышения ПДК рыб в пределах 2,0-5,5

раз), азот нитритный (1,2-2,7 ПДК), медь (2,0-3,0 ПДК), фенолы (2,0-3,0 ПДК), за счет чего качество вод в этих реках классифицированы в 2013-2015 гг. 3 классом – «умеренно-загрязненная». Из рек Южно-Казахстанской области ко 2 классу качества «чистая» относится р. Боген [4].

Главным источником поступления сульфатов засоленные почвы и грунты зоны аэрации, а также грунтовые воды, дренируемые разъемом реки. Сульфаты выносятся также со сточными водами коммунального хозяйства и сельскохозяйственного производства.

Показателем влияния сельскохозяйственной деятельности на качество воды является наличие в сбросах сточных вод азотистых соединений в питьевой воде к заболеваниям раком и повышению детской смертности.

Со сточными водами предприятий химической, металлургической промышленности, шахтными водами, альдегидными реагентами, используемыми для уничтожения водорослей, поступают соединения меди. Медь может проявляться в результате коррозии медных трубопроводов и других сооружений, используемых в системах водоснабжения.

С хозяйствственно-бытовыми сточными водами в природные водные объекты поступают фенолы, которые образуются в результате сложных биохимических реакций разложения органических веществ. Источником фенолов могут служить также широко используемые вещества для пропитки железнодорожных шпал, санитарной дезинфекции, а также в качестве антисептика в медицине, в ветеринарии для обработки домашнего скота.

На основании вышеизложенного можно сделать следующее заключение.

Любой вид хозяйственной деятельности человека, проводимой в речных бассейнах, означает вмешательство в жизнь рек, которое вызывает изменения. В результате сброса сточных вод: изменяются физические свойства воды (уменьшается прозрачность, появляются окраска, привкусы, запахи); на поверхности водоема появляются плавающие вещества, а на дне образуется осадок; изменяется химический состав воды (увеличивается содержание органических и неорганических веществ, появляются токсичные вещества, изменяется бактериальный состав).

Из-за антропогенного воздействия загрязненные водоемы теряют рыбохозяйственное значение, становятся пригодными только для целей орошения и технического водоснабжения. Для использования вод в целях хозяйствственно-питьевого и культурно-бытового водоиспользования требуется проведение мероприятия по очистке воды.

#### Список литературы

1. Отчет Арало-Сырдарыинской бассейновой инспекции по регулированию использования и охране водных ресурсов КВР МСХ РК, 2014 г.
2. Перечень рыбохозяйственных нормативов ПДК и ОБУВ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. Государственный комитет РК по рыболовству. - М.: Изд-во ВНИРО. - С. 199 .
3. Информационный бюллетень РГП «Казгидромет». О состоянии окружающей среды Республики Казахстан. – Алматы, 2015.
4. Отчет ЮКО департамента экологии «О загрязнения поверхности вод в ЮКО» за 2015 год.
5. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. - ГХИ «Росгидромет».

Получено 17.04.2019

МРНТИ 38.49.17

**З.И. Черненко, И.Е. Матайбаева**

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

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ЗОЛОТОРУДНОГО ОБЪЕКТА  
БЕЛЬСУ (ЖАРМА-САУРСКИЙ РАЙОН)**

*Структурно-формационная зона рудопроявления Бельсу связана со становлением сасыксорского субвулканического и гипабиссального интрузивного комплекса, представленного вторичными кварцитами, развитыми по диоритовым порфиритам и гранитпорфирам. Золотое оруденение представлено узкими протяженными зонами СЗ простирания. С учетом того, что на территории Восточно-Казахстанской области в последние годы наблюдается истощение как запасов золота, так и меди, то результаты данных исследований указывает на возможные резервы укрепления и развития минерально-сырьевой базы Восточного Казахстана на золотое оруденение.*

*Бельсу кен білінүүнің құрылымдық формациялық аймағы диоритті порфириттер мен граниттік порфирлер бойынша дамыған қайта пайда болған кварциттермен ұсынылған және де сасықсорлық субжанартай және гипабиссалды интрузивті кешенінің қалыптасуына байланысты. Алтын көндөнү өңсіз созылатын СБ аймақтарымен ұсынылған. Шығыс-Қазақстан облысының аумағында соңғы жылдарды алтын, сондай-ақ мыс қорының сарқылуы байқалатының ескере отырып, осы зерттеулердің нәтижелері Шығыс Қазақстанның минералдық-шикізат базасын алтын көндөнүгө нығайт мен дамытудың ықтимал резервтерін көрсетеді.*

*Structural formation Belsu ore zone is associated with the formation of the sasyksorskogo subvulkanicheskogo and gipabissalnogo intrusive complex, represented by secondary quartzite, developed by dioritovym porfiritam and porfiram granite. Gold mineralization is represented by narrow linear zones of GC. In view of the fact that in the territory of the East Kazakhstan region in recent years, there has been a depletion of stocks, gold, and copper, the result of research data indicates possible reserves strengthening and development mineral-raw materials base East Kazakhstan on gold mineralization.*

**Ключевые слова:** перспективы, прогноз, рудопроявление Бельсу, Журма-Саурский золоторудный пояс, золото во вторичных кварцитах, ресурсы, технологии, Восточный Казахстан.

В недрах Казахстана заключены крупные запасы золота, по которым Казахстан занимает третье место в СНГ. Основные геолого-промышленные типы месторождений - кварцево-жильный, минерализованных зон черносланцевый и штокверковый, в которых сосредоточено 65% запасов металла, а около 30% золота извлекается попутно из комплексных месторождений (полиметаллических Алтая и др.).

Наш регион богат золотыми полезными ископаемыми, и всё же приоритетной задачей является укрепление минерально-сырьевой базы и золотовалютного фонда Восточно-Казахстанского региона является важнейшей народно-хозяйственной задачей, направленной на повышение экономики Республики и улучшения благосостояния трудящихся.

В XX веке было открыто множество рудопроявлений и мелких месторождений, многие из которых были не рентабельны и не представляли интереса. Одним из таких явилось рудопроявление Бельсу, известное с начала 60-х годов как мелкое кварцевожильное проявление и по оценке предшественников не представлявшее промышленного интереса. В связи с начавшимся в 2008 году мировым экономическим кризисом на сырьевом рынке Казахстана значительно упали цены на все металлы, за исключением золота. Для развития Восточно-Казахстанского региона и Казахстан в целом, а также укрепления минерально-сырьевой базы необходимо развивать золотодобывающую промышленность, как наиболее перспективную по сравнению с другими в сложившейся обстановке. С учетом того, что на территории Восточно-Казахстанской области в последние годы наблюдается истощение запасов золота, то данный проект является актуальным на ближайшие годы.

Кроме поиска новых месторождений необходима переоценка уже известных и их более детальное изучение с применением новых методов и технологий. Именно поэтому хочется обратить внимание на золотоносное рудопроявление Бельсу.

Мелкие месторождения золота имеют большой промышленный интерес, но большинство из них изучено и проведен подсчет запасов, поэтому для увеличения количества месторождений необходимо производить разведку и переоценивать уже известные месторождения. Так же стоит обратить внимание и на перспективные рудопроявления, одним из которых является Бельсу.

Рудопроявление Бельсу известно с начала 60-х годов как мелкое кварцевожильное проявление, находящееся на территории Аркалыкского антиклиниория, являющегося структурой второго порядка каледонских сооружений Чингиз-Тарбагатайского мегантиклиниория.

В административном отношении описываемая площадь входит в пределы Абаевского района Восточно-Казахстанской области. Территория расположена на северном склоне Балхаш-Иртышского водораздела в бассейне среднего течения р. Ащису, в верховьях её правого притока р. Ашиайрык.

Рельеф описываемой местности представляет собой бесконечное сочетание разнообразных по форме и величине холмов и увалов. Местами на равнинном горизонте вырисовываются каменистые возвышенности, принимающие облик низких гор. Рельеф таких участков в миниатюре напоминает горную страну с интенсивно развитой сетью глубоких и узких V-образных логов (горы Торткуль, Жосалы, Кул).

Структурно формационная зона рудопроявления Бельсу связана со становлением сасыксорского субвулканического и гипабиссального интрузивного комплекса, представленного вторичными кварцитами, развитыми по диоритовым порфиритам и гранит порфирам. Золотое оруденение представлено узкими протяженными зонами ССЗ простирания. Контуры минерализованных зон выделяются лишь по результатам опробования, с поверхности их отличить трудно.

В восточной части под рыхлыми отложениями залегает тело предположительно кварцитов. Отдельными картировочными скважинами в его пределах выявлена медная и золоторудная минерализация. Мы предполагаем, что медная минерализация рудопроявления Бельсу аналогична уже изученному месторождению Бала-Урпек.

Территория рудопроявления Бельсу делится на два структурных этажа:

1) нижнепалеозойский структурный этаж, представленный сарыкольским интрузивным комплексом;

2) каледонский структурный этаж, сложен породами доненжальской свиты.

Породы прорываются субвулканическими и гипабиссальными интрузиями сарыкольского комплекса, представленного гранитами, аляскитами, гранит-порфирами, плагиогранитами, гранодиоритами и диоритовыми порфиритами.

Доненжальская свита представлена: песчаниками, алевролитами, конгломератами, порфиритами, риолитами и туфами.

На территории Восточно-Казахстанской области наиболее схожим объектом на наш взгляд является месторождение Бала-Урпек.

Месторождение Бала-Урпек расположено в южном эндоконтакте Баимбетского массива, сложенного гранодиорит-порфирами и прорванной дайками гранит-аплитов и диоритовых порфириотов. На поверхности рудопроявление представлено зоной окварцованных, серicitизированных, каолинизированных и лимонитизированных пород, развивающихся в основном по гранодиорит-порфирам, в меньшей мере по вмещающим породам.

Сравнивая месторождение Бала-Урпек и рудопроявление Бельсу можно отметить

несомненное сходство. В строении обоих участков принимали участие тела сарыкольского интрузивного комплекса, представленным гранодиорит-порфирами и диорит-порфирами. На обоих участках интрузивные породы сильно окварцовываются. Сами массивы имеют схожую зональность, все породы падают на СС3.

По данным металлометрической съемки на месторождении Бала-Урпек выделяются ореолы меди, свинца, цинка и молибдена. Их процентное содержание достигает: меди 0,012%, свинца до 0,005%, цинка до 0,1%, молибдена до 0,001%. Ореольное поле имеет кольцевую форму вокруг массива вторичных кварцитов.

Рассматривая данные металлометрической съемки на рудопроявлении Бельсу мы можем увидеть, что там предшественники выделяли ореолы меди, свинца, цинка, золота и молибдена. Процентное содержание составляет: медь 0,010-0,015%, свинец 0,005-0,01%, барий 0,01%, цинк 0,01%, молибден 0,001%.

Анализируя данные факты, можно увидеть, что на территории обоих тел содержаться одинаковые элементы с практически одинаковыми содержаниями. Это ещё один из фактов сходства этих рудных зон. Но, смотря на карту металлометрической съемки, на рудопроявлении Бельсу, мы видим, что ореолы не образуют кольцевую структуру, как на месторождении Бала-Урпек. Это связано с тем, что их южная часть обрезается мощными (до 20 метров) рыхлыми отложениями.

Предшественниками на месторождении Бала-Урпек отмечено, что в зоне окисления медная руда сопровождается золоторудной минерализацией. Запасы золотоносной руды не подсчитывались. По результат проб, полученных из скважин, установлено, что в зоне окисления содержание меди невелико и не превышает 0,2%. То есть такие же содержания, что и в картировочных скважинах рудопроявления Бельсу.

Изучив карту фактического материала, которая показывает проводимые работы предшественников, выделены контуры минерализованных зон участка рудопроявления по данным опробования в рудных зонах, где предполагаются залежи золоторудных тел. Всего можно выделить и сгруппировать пять рудных зон, в которых предполагаются залежи золотой руды.

*В рудной зоне № 1 (RZ 1), располагаемой на западном фланге, имеется два рудных тела (RT1 и RT2), восточнее располагается рудная зона № 2 (RZ 2), в которой выделяется три рудных тела (RT3, RT4, RT5), в рудной зоне № 3 (RZ 3), к югу от предыдущей зоны, одно рудное тело (RT6). В рудной зоне № 4 (RZ 4) и зоне № 5 (RZ 5) отдельно рудные тела не выделяются, так как их границы совпадают с границами рудных зон. Для расчета среднего содержания золота в рудных зонах возьмём среднее арифметическое содержание золота в этих зонах. Рудное тело № 1. Ср. содержание золота (г/т) - 1,66. Рудное тело № 2. Ср. содержание золота (г/т) – 6,0. Рудное тело № 3. Ср. содержание золота (г/т) – 0,61, Рудное тело № 4. Ср. содержание золота (г/т) – 1,74, Рудное тело № 5. Ср. содержание золота (г/т) – 16,0. Рудное тело № 6. Ср. содержание золота (г/т) – 0,5.*

Таким образом, исходя из вышеизложенных вычислений, можно сделать вывод, что при подтверждении гипотезы рудопроявление Бельсу будет малым золоторудным месторождением, из которого также можно будет попутно добывать медь, которая вполне возможно станет более востребованной в связи с запуском медеплавильного завода в г. Усть-Каменогорске.

#### Список литературы

1. Щерба Г.Н. Большой Алтай. / Г.Н. Щерба, Х.А. Беспаев, Б.А. Дьячков и др. - Алматы, 2000. - Кн. 2. Металлогения. - 400 с.

2. Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. - М.: Научный мир, 2006. - 358 с.
3. Услугин М.О. Проект на проведение геолого-минералогического картирования масштаба 1:200000 планшетов М-44-101, 102, 114, 115, 127, 128 и опережающих геофизических работ масштаба 1:50000 планшетов М-44-102-Г, 115-А, В на 1991-91 гг. (участок Жарминский) / М.О. Услугин, В.В. Глазунов, Ю.Г. Азовский. – Опытное поле, 1991.
4. Рафаилович М.С. Золотоносные метасоматические формации Казахстана. – ВКГУ, 2002.
5. Нарсеев В.А. Золоторудный потенциал Казахстана / В.А. Нарсеев, М.С. Рафаилович, Б.А. Дьячков // Гигантские месторождения золота Центральной Азии. - Алматы, 2014. – 200 с.

Получено 17.04.2019

УДК 551+553 (574.4)

### З.И. Черненко, М.А. Мизерная

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

#### ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ЗОЛОТО-БЕРЕЗИТОВОГО ТИПА МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАЛАДЖАЛ (ЗАПАДНАЯ КАЛБА)

*Изучение месторождений Восточного Казахстана золото-березитового типа является актуальной задачей сегодняшнего дня, которую надо решать на высоком научно-техническом уровне для проблемы воссоздания собственной минерально-сырьевой базы золото-березитового оруденения на примере месторождения Баладжал, так как золото здесь является единственным промышленным компонентом. Все это указывает на возможные резервы укрепления и развития минерально-сырьевой базы Восточного Казахстана на золотое оруденение.*

*Шығыс Қазақстандағы алтын-березитті кенорындарын зерттеу бүгінгі күннің өзекті міндетті болып табылады, ол жоғары деңгейдегі ғылыми-техникалық деңгейде Баладжал кен орнының мысалын пайдалана отырып, алтын-березитті өз минералдық-шикізат базасын қайта құру мәселеі үшін шешілуі тиіс, себебі мұнда алтынның жалғыз өндірістік компоненті болып табылады. Мұның бәрі Шығыс Қазақстандағы минералдық-шикізат базасын нығайту және дамыту үшін ықтимал қорларды көрсетеді.*

*Study of deposits of the Eastern Kazakhstan gold-berezitovogo type is urgent today that must be resolved at a high scientific and technical level for the problem of recreating your own mineral-raw materials base gold-mineralization in berezitovogo deposit Baladzhal example, because gold is the only industrial component. All this indicates possible reserves strengthening and development of mineral-raw-material base of the East Kazakhstan region for gold mineralization.*

**Ключевые слова:** перспективы, прогноз, Баладжал, Западно-Калбинский золоторудный пояс, золото-березитовое оруденение, березиты, золотоносные сульфиды, ресурсы, технологии, Восточный Казахстан.

Процессом березитизации называется преобразование гранитных пород типа гранит-порфиров, кварцевых порфиров, аплитовидных гранитов и других в березиты и березитизированные породы под воздействием гидротермальных растворов. Месторождение Баладжал в Западной (Золоторудной) Калбе приурочено пространственно и структурно к штоку габброидов и диоритов аргимбайского комплекса ( $\mu\beta$ C2-3), расположенному среди терригенных олистостромовых осадков таубинской свиты (C<sub>2</sub>b1tb) в зоне Баладжальского северо-западного регионального разлома.

*Месторождение Баладжал. Расположено в Кокпектинском районе Семипалатинской*

области в 70 км восточнее железнодорожной станции Жангизтобе и в 225 км юго-восточнее г. Семипалатинска (рис. 1).

Рудообразование протекало в три стадии. С ранней гидротермально-метасоматической стадией связаны березитизация габброидов, диоритов и развитие основного объема прожилково-вкрапленных руд. Процесс охватил зону наибольшего дробления пород и максимально проявился в апикальной части штока, под достаточно плотным экраном перекрывающих роговиков.

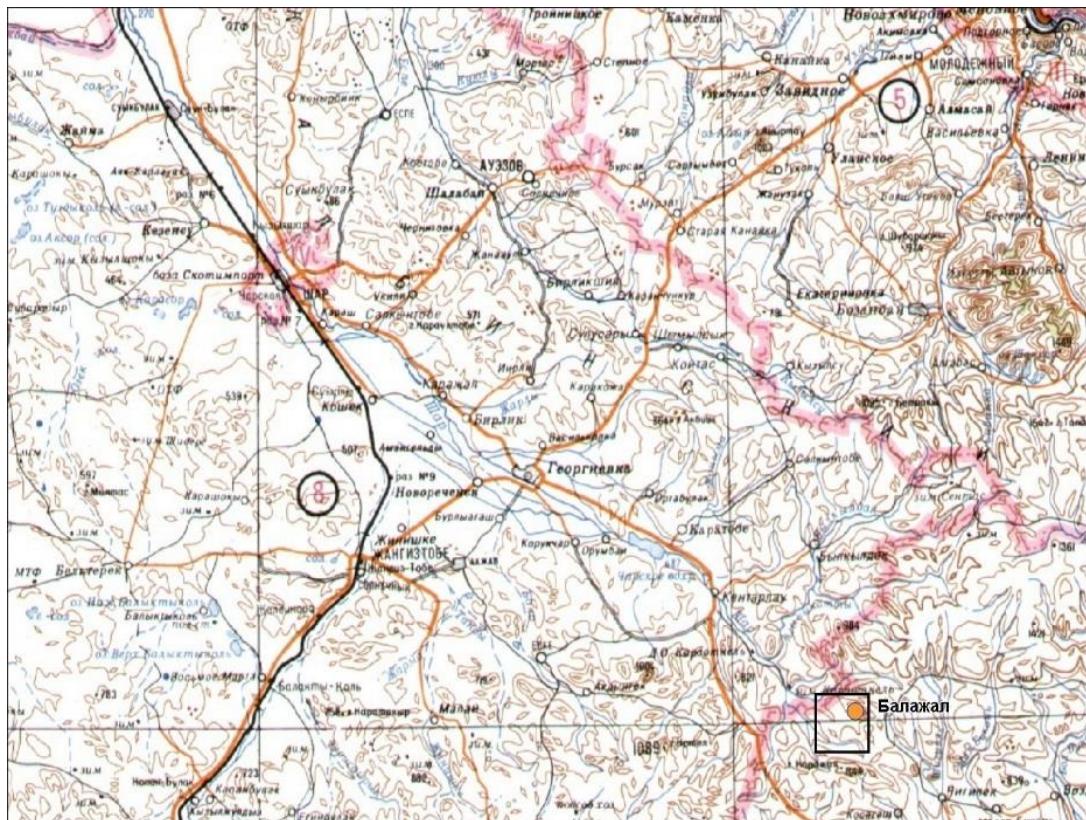


Рисунок 1 - Обзорная карта района месторождения Баладжал

Во вторую стадию осуществлялось формирование большей части кварцевых жил. Концентрация их проявилась унаследованно в границах зоны березитизации с выходом отдельных жил во вмещающие породы. В эту же стадию проходила гидротермально-метасоматическая «доработка» березитов с усложнением характера и интенсивности их оруденения. Наиболее значительно это проявилось в зольбандах кварцевых жил, где про-кварцевание и сульфидная минерализация пород обычно максимальные. В третью за-ключительную стадию были сформированы в небольшом объеме поздние кварцевые жи-лы и прожилковые выделения кварца с карбонатом.

В ряду золоторудных объектов Казахстана Баладжал является первенцем, открытym старателями в 1884 г. Месторождение находится в узле пересечения Мукуро-Чарского северо-западного и скрытого северо-восточного глубинных разломов. Северо-восточные нарушения вмещают основную массу кварцево-жильного и вкрапленного оруденения. Субширотный разлом является контролирующим. Резкий разворот структур с северо-

западного направления на северо-восточное обусловил оптимальный режим магмо - и рудообразования. В геологическом строении рудного поля принимают участие вулканогенно-осадочные породы аркалыкской и кокпектинской свит визе-намюрского возраста и интрузивные тела кунушского комплекса. Вмешает оруденение Баладжала гранитоидный массив. Распределение золота имеет столбовой характер. Протяженность рудных столбов от 40 до 100 м. Наиболее благоприятными для рудных столбов являются роговики и диориты. В общем балансе запасов кварцево-жильной руды основную ценность представляют рудные столбы. В них содержится около 50 % общих запасов золота. Выделяются три участка скоплений рудных столбов, прослеженных на глубину до 120 м. На глубине содержание золота уменьшается и кварцево-жильный тип оруденения становится беспersпективным (рис. 2).

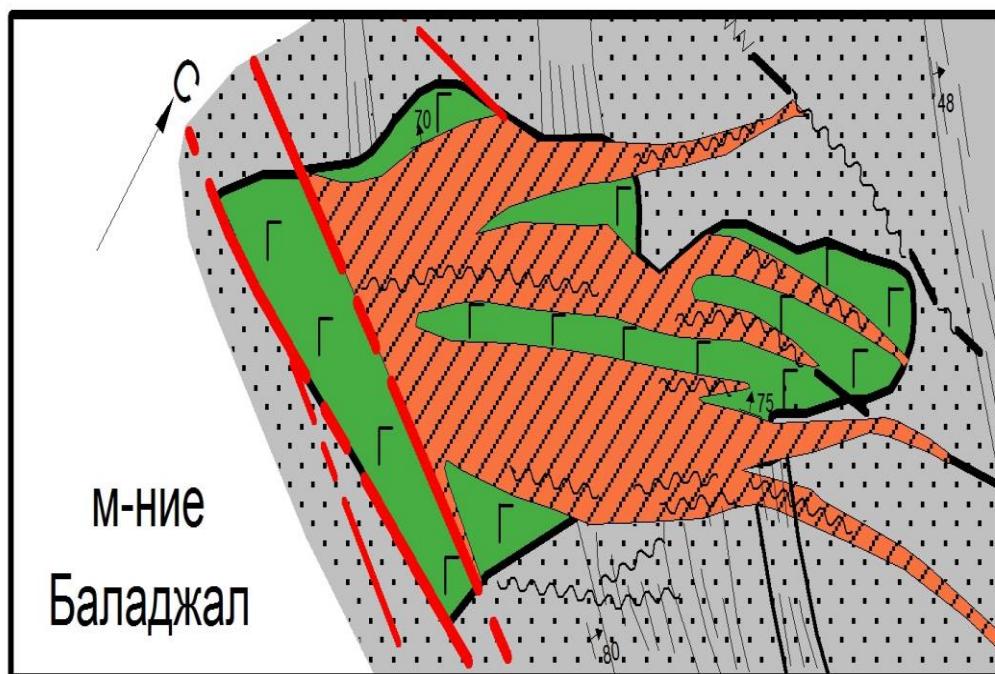


Рисунок 2 - Схема геологического строения месторождения Баладжал золото-березитового типа:  
1- преимущественно углисто-глинистые алевролиты; 2 – полимиктовые песчаники аганактинской свиты (C1s); 3 – габброиды бижанского комплекса (C2-3); 4 – зоны золото-березитовой минерализации; 5 – разрывные нарушения; 6 – золотоносные кварцевые жилы; 7- элементы залегания (по материалам геологоразведочных работ)

Прожилково-вкрапленное оруденение приурочено к березитам в центральной части интрузивного массива. На глубину мощность березитов увеличивается до 140 м. Общая протяженность рудных березитов на поверхности достигает 500-600 м. Распределение золота в березитах более равномерное, чем в кварцевых жилах. Вкрапленное золотое оруденение содержится также в зоне Баладжала разлома мощностью от 1-5 до 25 м. Среднее содержание золота в березитах невысокое (порядка 4 г/т), но устойчивое в значительном объеме рудных тел. Состав руд сравнительно простой. В кварцево-жильной руде главными рудными минералами являются пирит, арсенопирит и золото, второстепенными - блеклая руда (теннантит), халькопирит, сфалерит, галенит и шеелит, из нерудных, кроме кварца (до 90 %), отмечаются карбонаты и альбит. Прожилково-вкрапленные руды по составу близки кварцево-жильным, но с большой ролью реликтовых дорудных минералов. К главным рудным минералам относятся пирит, арсенопирит, золото, ильменит, титаномагнетит, пирротин, висмутин, сфалерит, блеклая руда, сфен, рутил, герцдорфит, марказит, лейкоксен, кобальтин.

Золото является единственным промышленным компонентом в обоих типах руд. Устанавливается три его морфогенетических типа. Золото I - раннее, тонкодисперсное, присутствует в мышьяковистом пирите и арсенопирите, характерно для вкрапленного типа оруденения. Его содержание в минерализованных березитах определяется насыщенностью последних золотоносными сульфидами.

Золото II типично для кварцевых жил. Оно более крупных размеров, ассоциирует с кварцем и полиметаллами, в прожилково-вкрапленной руде встречается по микротрещинам в золотоносных сульфидах и в кварце. Пробность золота 888. Примеси - серебро, медь, сурьма и цинк. Золото III отмечается в единичных случаях в поздних кварц-кальцитовых прожилках. Встречается также гипергенное золото в лимонитах и кварце. Рудообразование протекало в три стадии. С ранней гидротермально-метасоматической золото-пирит-арсенопирит-кварцевой стадией связана основная золотоносность прожилково-вкрапленных руд в минерализованных березитах. На долю раннего золота I приходится около 90 % общего его содержания в прожилково-вкрапленной руде. В кварцево-жильном типе главную роль играет вторая - блеклорудно-сфалерит-золото II-халькопирит-кварцевая стадия. В кварцевых жилах золото II составляет около 80 % от общего его содержания. В третьей золото-кварц-карбонатной ассоциации количество золота III не превышает 3-5% от его общего содержания в кварцевой руде. Сумма сульфидов в кварцевой руде составляет 2-3%, в прожилково-вкрапленной 5-10 %. Из вредных примесей присутствует мышьяк. Его содержание в кварцевой руде не превышает 0,2 %, в прожилково-вкрапленной достигает 1 %. Перспективы месторождения определяются золотоносными березитами штокверкового типа с тенденцией увеличения на глубину. Золотоносность кварцевых жил ограничивается глубиной 120 м. За счет прожилково-вкрапленного оруденения месторождение может быть переведено в перспективное для отработки.

Месторождение Баладжал является наглядным примером сочетания жильного и штокверкового типов золотого оруденения в березитах. Пространственное положение золотосульфидно-кварцевой березитовой руды строго ограничено конкретным геологическим образованием - штоком габбродиорита. Балжальский интрузивный шток, сложенный в основном кварцевым диоритом, диоритом, габбро, диабазом, по отношению к жильному каркасу является как бы его стержнем.

Шток со штокверковым золотым оруденением представляет собой типичный пример глубококорневого месторождения.

Поскольку Балажальская интрузия, локализующаяся в пределах взброшенного блока и

ороговикованы только отложения низов кокпектинской свиты, то, учитывая мощности этой свиты и отложений среднего карбона, глубина формирования интрузии соответствовала порядка 3-6 км. Это означает, что формирование интрузии и неизбежная дифференциация ее на такой глубине привели к достаточно спокойному расслоению интрузивной массы на две-три основные составляющие: габбровую, диабазовую и диоритовую. При этом по региону в целом для интрузий габбро-плагиогранитовой формации преобладающая роль принадлежала диоритам (в 2 раза по сравнению с габбро и в 1,5 раза по сравнению с габбродиоритом).

Анализируя объемное размещение основных петрографических разновидностей внутри Балажальского штока установлено, что порядка 70 % объема его принадлежит диоритам, 20 % - габбро и 5-8 % - диабазам. Остальные разновидности, слагающие интрузию, составляют в целом порядка 2-5 %. Геолого-петрографический состав интрузива свидетельствует о гипабиссальных условиях его становления.

Стержневое место в структуре штокверка занимают известные золоторудные кварцевые жилы (порядка 40), окруженные ореолами штокверковых руд. Все перечисленные жилы группируются в пределах трех пространственных сближенных участков.

Первая группа жил (Валентиновские №№ 1, 2, 3, Андреевская, Евгеньевская, Ивановская и ряд без названий) локализуются со стороны западного крутого контакта габбродиоритового штока с вмещающими ороговикованными алевролитами, песчаниками кокпектинской свиты, захватывая частично центральную часть штока. Их простижение северо-восточное, близкое к меридиональному ( $25\text{--}30^\circ$ ), углы падения, как правило, крутые ( $60\text{--}80^\circ$ ). На восточном фланге штока к ним можно отнести также жилы Параллельную, Ново-Параллельную, Лево-Бортовые, Покровскую.

Указанные жилы распределяются субпараллельно направлению линейной ориентировки габбродиоритового штока, ритмически неоднородно, образуя отдельные зоны с более тесным расположением трещин, разделенные зонами слабо развитой трещиноватости, заполненных маломощными кварцевыми жилами и прожилками штокверкового характера. Некоторые трещины вмещают маломощные дайки аплитов, плагиогранит-порфира и даже тела лиственитов по ультрабазитам. Все вместе взятое указывает на их древнее прототектоническое заложение в тесной связи с продольными прототектоническими трещинами, которые подновлялись в первую очередь и благоприятно «работали» при орогенном мезозойском этапе тектономагматической активизации.

Вторая группа жил. Наибольшее развитие кварцевые золоторудные жилы получили в восточной части габбродиоритового штока, со стороны его пологолежащей части (жилы № 1, Кок-Иссык, Джембас, Бортовая, Никольская, Ново-Никольская, Левый Развил, Западная и множество других менее масштабных). Простираясь здесь под острым углом к линейной ориентации штока и к полосе кварцевых жил первой группы, они локализуются в трещинах северо-восточного направления по азимутам  $55\text{--}70^\circ$ , с пологими углами падения ( $25\text{--}65^\circ$ ). Эти жилы, включая жилы первой группы, образуют в этой части месторождения свиту субпараллельных, иногда пересекающихся, сближенных тел, в результате чего вся жильная система представляется взаимосвязанной.

Морфология поперечных прототектонических трещин характеризуется значительной протяженностью (180-300 м), жилы сравнительно прямолинейны. Окруженная со стороны висячего и особенно лежачего боков обилием мелких и маломощных, нитевидных кварцевых жил и прожилков во вмещающих метосоматитах (березитах), импрегнированных кристаллами золотоносных сульфидов, вся эта система образует северо-восточную полосу протяженностью порядка 55 м и шириной 70-100 м ярко выраженного штокверка

в березитах по кварцевым диоритам.

Третья группа представлена жилами Перспективной, Комсомольской, Софийской-І, Софийской-ІІ, залегающими субширотно (азимут простирания 100-110°), с углами падения 40-45° на север. Все эти жилы имеют протяженность на поверхности в пределах 200-250 м и откартированы среди роговиков и осадочных образований кокпектинской свиты, а в пределах габбро-диоритового штока они приурочены к местам смены с глубиной диабазов, кварцевых габбро, перекрываемыми ими диоритами. По своему генезису они близки с поперечными трещинами, их формирование связано с орогенными этапами развития региона. В пределах габбро-диоритового штока эти жилы также сопровождаются штокверковыми березитовыми ореолами.

*Золоторудные кварцевые жилы трех групп* размещены друг от друга на незначительные расстояния. Все они окружены ореолами штокверковых руд различной мощности, которые ввиду значительного количества главных кварцевых жил, на незначительной площади месторождения (0,068 км<sup>2</sup>), соприкасаются друг с другом, сливаясь в единый золоторудный штокверк.

Таким образом, месторождение Баладжал рассматривается как крупный штокверк прожилково-вкрашенных золотосульфидно-кварцевых руд в березитах (метасоматитах) по габбро-диоритам. В количественном отношении в зонах березитизации на месторождении Баладжал большим распространением пользуются процессы окварцевания, с которой связана значительная часть золотого оруднения.

Аналогами месторождения Баладжал являются казахстанские золоторудные месторождения Степняк, Джеламбет, Бестюбе, а на Урале - Подлунный Голец, Масловское и др.

#### Список литературы

1. Щерба Г.Н. Большой Алтай / Г.Н. Щерба, Х.А. Беспаев, Б.А. Дьячков и др. - Алматы, 2000. - Кн. 2. Металлогения. - 400 с.
2. Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. - М.: Научный мир, 2006. - 358 с.
3. Дьячков Б.А. О геологической позиции и возрасте золоторудных месторождений Восточного Казахстана / Б.А. Дьячков, Н.А. Зимановская // Изв. НАН РК. - Сер. Геология и технические науки. - 2013. - № 5. - С. 21-33.
4. Нарсеев В.А. К дискуссии о генезисе руд карлинского типа. Юго-Западный Алтай // Руды и металлы. - Сузdalь-тренд. - 2002. - № 1. - С. 67-70.
5. Нарсеев В.А. Золоторудный потенциал Казахстана / В.А. Нарсеев, М.С. Рафаилович, Б.А. Дьячков // Гигантские месторождения золота Центральной Азии. - Алматы, 2014. - 200 с.
6. Рафаилович М.С. Геолого-структурная позиция, прогнозно-поисковая модель месторождения золота Сузdalьское (Восточный Казахстан) / М.С. Рафаилович, Б.А. Дьячков // Известия НАН РК. - Сер. Геология и технические науки. - 2011. - № 6. - С. 45-61.
7. Рафаилович М.С. Крупные месторождения золота в черносланцевых толщах: условия формирования, признаки сходства / М.С. Рафаилович, М.А. Мизерная, Б.А. Дьячков. - Алматы, 2011. - 272 с.

Получено 17.04.2019



МФТАА 53.81.35

**С.А. Абдулина, Е.Н. Иващенко, Б.С. Саурбаева**

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен қ.

**МЫРЫШ ФОСФАТЫ НЕГІЗІНДЕ МОДИФИКАЦИЯЛАНГАН КОРРОЗИЯҒА ҚАРСЫ ПИГМЕНТТЕР АЛУ**

Мақалада мырыш фосфаты негізінде синтезделіп алынған жоғары дисперсті пигменттерді синтездеу жолдарымен оларды лак-бояу қаптамалары ретінде қолдану мүмкіндіктері қарастырылған. Зерттеу нәтижелері қолданыс барысында алынған пигменттер коррозия тоғын әжелтәүір тәмемдететіні байқалды. Пигменттердің металл-қаптама шекарасында коррозиялық үрдіс жылдамдығының тәжелуі олардың жартылай суда ерігіштік қасиетіне, тұзлған иондарды металл бетіне тасымалдауына және электрохимиялық коррозияның анодтық үрдіс жылдамдығын азайтуымен байланысты болатындығы анықталды.

В статье исследованы синтез, а также возможность использования в качестве лакокрасочных покрытий ряда высокодисперсных, синтезированных на основе фосфата цинка, пигментов. Показано, что в водных вытяжках некоторых из полученных покрытий на их основе наблюдается значительное уменьшение токов коррозии. Описана методика синтеза новых противокоррозионных цинкосодержащих пигментов ингибирующего типа, которые менее токсичные, чем хроматные пигменты, превосходящие последние по способности подавлять коррозию.

*This article is studying the synthesis and the possible usage of finely dispersed pigments as lacquer coating. The synthesis of these pigments is based on zinc phosphate. It was also shown that in water extract of some of the coatings the corrosion current decreased. Moreover, this article includes the methodology of synthesis of new anticorrosion pigments which contain zinc. The uniqueness of these pigments is based on the ability of supressing the corrosion and inhibitive type that are less toxic in comparison with chromate pigments.*

*Негізгі сөздер:* пигмент, коррозия, мырыш фосфаты.

Технологиялық прогрессің дамуымен техногендік заттардың қоршаған ортаға ықпалының өсуі тығыз байланысты, осы себептен атмосфера, су және топырақтың коррозиялық белсенділігі артады. Осы орайда металдарды, әсірелең негізгі құрылымдық материал болып табылатын болатты коррозиядан қорғауға бағытталған іс-шараларды жақсарту қажеттілігі арта түседі. Осы проблеманы шешудің ең сенімді және салыстырмалы арзан әдісінің бірі – жабындары қолдану болып табылады. Болаттан жасалған бұйымдарды бояған кезде бірнеше қабат жабын жағылады, негізгі коррозияға төтеп беру функциясын астарлы қабат атқарады. Астарлы қабаттың төзімділігі құрамындағы пигменттің табиғатымен және құрамымен анықталады. Сондықтан қазіргі уақытта зерттеушілердің назары астарлы қабат құрамын ингибирлеуші қасиеті басым пигменттермен толықтыруға бағытталған. Ал ол пигменттер боялған қабаттың біртектілігі бұзылған жағдайда коррозия жылдамдығын тәменгі деңгейде ұстап тұрады. Коррозиядан қорғау мақсатында пигментті бояулар пайдалану етек алып келеді. Бұл өндірістің ұлғаюын және ауқымын көңейтуді қажет етеді. Ең қарапайым коррозияға қарсы пигменттер мысалы: мырыш хроматы стронций, кальций, қорғасын хроматтары және т.б., улы заттар болып келеді. Сондықтан, оларды алмастыру мақсатында үнемі тиімді, коррозияға қарсы пигменттер іздеу жұмыстары жүргізіледі.

Экологиялық жағынанда экономикалық жағынан да тиімді болып келетін пигменттер

ол – металл фосфаттары негізіндегі пигменттер. Олардың бағасы арзан, улылығы төмен. Яғни мырыш фосфаты негізінде коррозия жылдамдығын ингибирлеуші пигменттер алу және олардың антикоррозиялық қасиеттерін зерттеу өзекті мәселелер қатарына жатады.

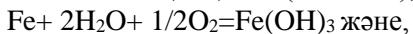
*Мырыш фосфаты – коррозияға қарсы пигмент*, ақ түсті, улы емес және экологиялық - қолайлы. Болат пластиналарды қаптағанда улы газдар бөлінбейді. Молекулалық формуласы:  $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ .

Қасиеттері: Тез кебеді және суға тәзімді. Боялатын бетке қойылатын талаптар болмашы ғана. Боялу бетімен бояу арасындағы байланыс мықты. Коррозияға тәзімді (мырыш хроматынан коррозияға тәзімділігі мықтырақ).

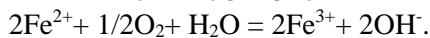
Мырыш фосфатының антикоррозиялық эффектісі. Мырыш фосфатының коррозияға қарсы әсері- қорғаушы жабыннан өткен суда ол диссоциацияланып кешенді қышқыл түзүне негізделген. Кешенді қышқыл және қабықша түзүшімен түзілген кешенді қосылыстары коррозиялық ұшықтардың микроанодты бөліктерінде темір иондарымен әрекеттесіп тұрақты кешенді коррозия ингибиторын түзеді:



Сонымен қатар мырыш фосфаты қабықша түзгіштердің деструкциясы нәтижесінде пайда болған қышқылдық өнімдерді біріктіріп судың металл бетіне осмостық тасымалдануын тежейді. Егер металмен фосфаттармен қабықша түзгіштердің кешенді қосылыстары әрекеттессе, фосфаттармен пигменттеген қорғаушы қабаттың коррозияға тәзімділігінің артуын адгезиялық мықтылығының артуымен түсіндіруге болады. Жоғары кешенді қосылыс түзгіштік қасиетіне байланысты фосфатты пигменттер бетінде тат дақтары бар металл бетін хроматты пигменттерге қарағанда жақсырақ қорғайды. Хроматтардан тағы бір айырмашылығы хроматтар анодты да катодты да бөліктерде эффектифті әсер ететін болса, фосфаттар тек беттің тек анодтық бөліктерінде активті. Темір термодинамикалық тұрақсыз металдар қатарына жатады,  $pH=7$  ортада оның электродтық потенциалының мәні  $E=-0,412V$  тең болады, яғни сутегі электроды потенциалынан аз. Бірақ құрамында оттегі жоқ су темірмен мүлде әрекеттеспейді, өйткені оның бетінде  $Fe(OH)_2$  ақ түсті тығыз қабаты түзіледі. Керісінше оттегі қатысында таттың негізін құрайтын  $Fe(OH)_3$  түзіледі де коррозия жылдамдығы артады.



Таттың түзілуі бет үстінде  $Fe^{3+}$  және гидроксид иондарының көбеюі нәтижесінде, сонынан шектік деңгейден өткен соң бет үстінде кристалл зат  $Fe(OH)_3$  түзілімен түсіндіріледі.



Осы орайда біз таттың бетіне жаққанда оның химиялық құрамын өзгертетін-модификациялайтын бояулар алуды қарастырдық. Татты модификациялау коррозия үрдісін тежейді, бірақ қабық астындағы коррозияны мүлдем токтатады деп айтуга болмайды. Соған байланысты біз қара металдарды қорғауда қажетті бояулардың құрамына қосатын коррозияны тежегіш жаңа заттар синтездедік. Негіз ретінде мырыш фосфатын алдық.

Бұл өнімнің басқалардан негізгі әрекшелігі-ұыттылығы төмен. Фосфатты пигменттер қабықша ішіне енген суда диссоциацияланып кешенді қышқылдар түзеді. Кешенді қышқылдар олардық қаптама түзгішпен әрекеттесуінен түзілген кешендері микроанодты аймактарда темір иондарымен әрекеттесіп тұрақты, тәзімді коррозия ингибиторын түзуінде. Сонымен қатар мырыш фосфаты астынғы қабатқа осмостық су тасымалдауды

тежейді. Кешенді қосылыстар түзгіштік қасиетіне байланысты фосфаттар хроматтарға қараганда астынғы қабатты мықтырақ қоргайды.

Фосфатты және хроматты пигменттер қоспасы синергизм тудырады, ейткені хроматтардың тотықтырыштық қасиетінен темір оксидке дейін тотығады, ал олар өз тарапынан фосфаттардың ингибиторлық қасиетін күштейтеді.

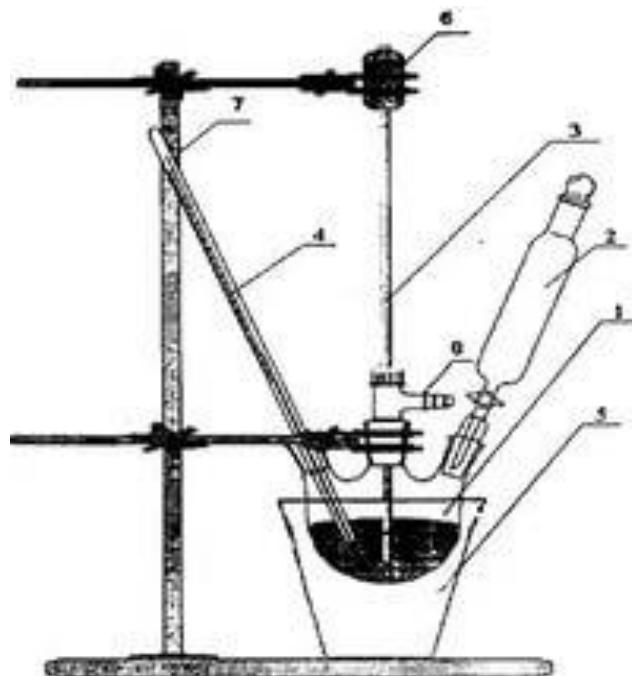
1-кесте

*Пигменттердің негізгі көрсеткіштері*

№	Көрсеткіш атауы ТШ 2329-002-13938162-2004	Мәндер
1	Қыздыру кезіндегі масса шығыны, %	6-12
2	% шаққандағы мырыш қосылыстарының массалық үлесі	34-44
3	% шаққандағы фосфор қосылыстарының массалық үлесі	40-55
4	Суда еритін заттардың массалық үлесі, %, жоғары емес	0,5
5	Сулы күйінде елекten өткізгенде қалдығы 0063, %, жоғары емес	0,5
6	Сулы суспензияның pH	6,0-8,0
7	Пигменттің май сыйымдылығы, г/100 г, жоғары емес	50
8	Дисперленуі, мкм, жоғары емес	30

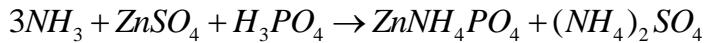
Коррозияға қарсы және конструкциялық материалдарға тауарлық түр беру үшін пигментті бояу қантамаларын қолдану қуннен қунге жоғары сұраныс тауып отыр. Бұл өндіріс аумағын кеңейтіп және пигменттер ассортиментін көбейтуді талап етеді.

Мырыш фосфаты аммоний негізіндегі пигментті синтездеу кезінде пигментті тұнбаға түсіру әдісімен бастапқы өнім ретінде мырыш сульфатын, ортофосфор қышқылын, сулы аммиакты қолдана отырып алдық.



1-сурет – Мырыш фосфаты негізінде пигмент алу қондырғысының сұлбасы

Мырыш фосфаты негізінде аммонилі ертіндімен тұндыру арқылы пигмент алу келесі реакция арқылы жүзеге асады:



Пигментті синтездеу: «реакторға» мырыш сульфатының есептелген мөлшерін құйып температураны  $40-50^0\text{C}$  қыздырылып ортофосфор қышқылы құйылады. Реакциялық массаны 15 минут араластырады да, сулы аммиакпен араластыра отырып тұндырады,  $\text{pH}=5,5-6,5$ .

Аммиак орнын гексаметилендиамин алмастырып мырыш фосфаты негізіндегі пигментті синтездедік.

Тұндырушы ретінде гексаметилендиаминнің этил спиртіндегі ертіндісі қолданылады.

## 2-кесте

### *Алынған пигменттердің техникалық сипаттамаларын зерттеу*

Көрсеткіш атаулары	№1	№2
Термоөндеу температурасы $^0\text{C}$	20	20
Май сыйымдылығы г/100 г	42,9	43,4
Сулы сыйындының pH-ы	5,7	6,1
Қыздырғанда масса шығыны	4,9	3,2
Жабындылық қасиеті	60,1	52,4

Мырыш фосфаты аммоний, гексаметилендиамин, сілті негізіндегі пигменттердің коррозияға төзімділік қасиетін потенциодинамикалық әдіспен зерттелді.

Пигменттердің металл-қаптама шекарасында коррозиялық үрдіс жылдамдығын тәжеуі олардың жартылай суда ерігіштік қасиетіне, түзілген иондарды металл бетіне тасымалдаудына және электрохимиялық коррозияның анодтық үрдіс жылдамдығын азайтуымен байланысты болады. Коррозия жылдамдығының кемуі поляризацияланудың артуына, фазалық немесе адсорбциялық пассивтік қабықшаның түзілүіне байланысты болады.

Анодтық ингибитор пигменттер металдың иондануын тежейді немесе мұлде тоқтатады. Олар анодтық аймакта пассивтеуші қабықша түзетін иондар бөледі.

Пигменттердің агрессивті ортада коррозияға төзімділігін зерттеу үшін

Тәжірибелі  $\text{NaCl}$  ертіндісінде жүргіздік.

Гель-золь фракциясынан тұратын композицияны пигменттің құрамдық мөлшерін өзгерте отырып кебуін зерттедік.

Потенциодинамикалық әдіс арқылы пигменттердің коррозияға төзімділік қасиетін зерттегенде мырыш фосфаты негізінде алынған аммонийлі, гексаметиламинді пигменттердің коррозияға төзімділігі өте жоғары екені байқалды. Коррозиядан қорғау қасиеті аралас екені анықталды. Оларды ғрунтты сылақтар ретінде қолдануға болатыны дәлелденді.

Синтезделіп алынған гексаметилендиамин негізіндегі мырыш фосфаты пигменті және осы пигмент негізіндегі керні пигменттер төзімділігі жоғары болса да, қолданыста мырыш оксидінен алынатын мырыш сульфатты пигменттерімен салыстырғанда уыттылығы жоғары.

## 3-кесте

*Пигмент суспензиясында және натрий хлориді ертіндісіндегі  
болаттың коррозия үрдісі параметрлері*

Пигмент атауы	Тұндыру pH	Коррозиялық үрдістер параметрлері	
		Коррозия тоғының тығыздығы	Коррозия жылдамдығы
Пигментсіз NaCl ертіндісі	-	64,7	0,75
Аммоний мырыш фосфаты	5,5-6,9	40,7	0,47
Аммоний мырыш фосфаты негізіндегі керніді пигмент (5%)	7-8	19,9	0,37
Аммоний мырыш фосфаты негізіндегі керніді пигмент (30%)	7-8	31,6	0,378
Аммоний мырыш фосфаты негізіндегі керніді пигмент (55%)	7-8	32,4	0,38
Аммоний мырыш фосфаты негізіндегі керніді пигмент (90 %)	5,5-6,9	37,2	0,43
Мырыш фосфаты гексаметилендиамин негізіндегі пигмент	7-8	25,1	0,29
Мырыш фосфаты гексаметилендиамин негізіндегі керніді пигмент	7-8	19,9	0,23

Гексаметилендиамин негізіндегі мырыш фосфатты пигменттер эпоксидті полимерлерде тігушілік агент рөлін атқаратындықтан олармен қорғалатын беттер өте тегіс біртекті болатыны анықталды.

## Әдебиеттер тізімі

1. Жук Н.Л. Курс коррозии и защиты металлов. – М.: 1960, 1977.
2. Шлугер М.А., Ажогин Ф.Ф., Ефимов Е.А. Коррозия и защита металлов. – М.: Металлургия, 1986. – 156 с.
3. Томашов Н.Д. Курс коррозии и защиты металлов. – М.: 1969.
4. Томашов Н.Д., Чернова Г.П. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы. Учебное пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1993. – 416 с.
5. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия защита от коррозии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.

Қабылданды 17.04.2019

МРНТИ 29.19.25, 29.19.03

**Д.Л. Алонцева, А.В. Русакова, Н.В. Прохоренкова, С.М. Оразаметова**

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

**А.М. Жилкашинова**

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ, ШЕРОХОВАТОСТИ И КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ  
БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОКРЫТИЙ, НАПЫЛЕННЫХ ПЛАЗМОЙ НА ТИТАНОВЫЕ ИМПЛАНТЫ**

*В статье представлены результаты экспериментального исследования пористости, шероховатости и коррозионной стойкости покрытий из биосовместимых материалов, нанесенных на титановые имплантаты микроплазменным напылением. Определены значения пористости и шероховатости напыленных покрытий и их влияние на коррозионную стойкость имплантатов.*

*Мақалада түрлі жағдайлардағы микроплазмага бұрку арқылы титан имплантаттарына қойылған биоуилесімді материалдардан кеуектілігі, кедір-бұдыр және коррозияға тәзімділігіне эксперименталды зерттеу нәтижелері көлтірілген. Микроплазмалардың өңдеу параметрлеріне байланысты титаның кеуектілігі мен гидроксиапатит жабындарының табигаты анықталды. Тозандылған жабындардың кеуектілігі мен кедір-бұдырлығының мәні және олардың импланттардың коррозиялық тұрақтылығына әсері анықталды.*

*The paper presents the results of an experimental study of the porosity, roughness and corrosion resistance of coatings from biocompatible materials deposited on titanium implants by microplasma spraying. The values of porosity and roughness of the coatings and their effect on the corrosion resistance of implants were established.*

**Ключевые слова:** биосовместимые покрытия, пористость, шероховатость, коррозионная стойкость, титановые сплавы, микроплазменное напыление.

Эндопротезирование сустава - это операция по замене компонентов сустава имплантантами, которые имеют анатомическую форму здорового сустава и позволяют выполнять весь объём движений. Основная цель эндопротезирования - обеспечить механическую стабилизацию для оптимального функционирования кости при физиологическом нагружении костей и суставов. Ортопедические имплантаты эндопротезов суставов срастаются с костью и косвенно помогают в биологических аспектах заживления костей, уменьшая нежелательное напряжение сдвига [1]. Титан и некоторые из его сплавов являются наиболее подходящими металлическими материалами для ортопедических целей из-за своих уникальных свойств, включая малый вес, отличную коррозионную стойкость и биосовместимость. Однако для компонентов, заменяющих кость (эндопротезов суставов), прочность чистого титана недостаточна, поэтому предпочтительными являются титановые сплавы, обладающие превосходными механическими свойствами [1-6], например медицинский сплав Grade 5 ELI.

В современной медицинской практике широко используются имплантаты из титановых сплавов, но у 5-10% пациентов все-таки происходит отторжение подобных имплантатов [1]. В связи с этим актуальной задачей является увеличение биосовместимости имплантатов-эндопротезов. Технология плазменного нанесения биосовместимого покрытия на имплантаты из титановых сплавов предлагает покрытие имплантата либо чистым титаном, либо слоем гидроксиопатита (ГА) - вещества  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , составляющего кость. В настоящее время используют в основном синтезированный ГА. Хотя разновидности синтетического ГА — от высокодисперсных порошков до беспористой керамики — и не воспроизводят точно структуру природных кристаллов ГА в кости, но, тем не менее, включаются в процессы метаболизма живого организма и перерабатываются орга-

низмом с различной интенсивностью, зависящей от структуры ГА, химического состава, удельной поверхности. Традиционно ГА-покрытия считаются остеокондуктивными, то есть способствующими росту кости. Покрытие растворяется в жидкой среде организма, т.е. происходит биорезорбция покрытия, и кость получает компоненты для роста из раствора. Технологии плазменного напыления в настоящее время являются преобладающими при производстве имплантатов с покрытиями из титана и ГА [1-6] и используются такими признанными мировыми лидерами в производстве имплантатов, как DePuy (Франция) [3] и Zimmer (Германия) [2].

Для обеспечения прочной и долговременной фиксации в кости имплантата с покрытием из биосовместимых материалов необходимо, чтобы покрытия отвечали определенным требованиям, особенно важными параметрами являются прочность сцепления покрытия с подложкой, пористость, шероховатость поверхности и коррозионная стойкость. Требования к структуре, составу и ряду свойств покрытий из ГА регламентированы международными стандартами ASTM F1185-03 [7] и ISO 13779-2:2000 [8], согласно которым состав покрытия должен включать не менее 95% чистого ГА, кристалличность быть не менее 45%, а прочность сцепления покрытия на отрыв не менее 15 МПа. Пористость, шероховатость и толщина, а также в целом композиция биосовместимого покрытия – это по-прежнему предмет исследования.

Наличие пористости является одним из условий успешного применения материала покрытия в качестве биоактивного для имплантата-эндопротеза. Пористость необходима для прорастания волокон коллагена и кровеносных сосудов при срастании имплантата с костью. Кроме того, открытая пористость за счет увеличения поверхности контакта покрытия с тканями организма влияет и на скорость биорезорбции покрытия [1, 2, 5]. Относительно шероховатости покрытий и размера пор в них единого мнения не сформировалось. Исследования в данной области рекомендуют варьировать размеры пор от 20 до 200 мкм [1, 6], а уровень шероховатости от 10 до 60 мкм [2, 5], степень пористости покрытий также не является четко определенной и может изменяться в пределах 5-50% [1, 4, 5]. Толщина покрытия на имплантате, с одной стороны, должна обеспечить надежную защиту от взаимодействия между металлической основой имплантата и живыми тканями организма. С другой стороны, с увеличением толщины покрытия прочность его сцепления с основой снижается. Поэтому как оптимальную для газотермических покрытий из ГА целесообразно принять толщину 70...150 мкм. Поверхность и структура биосовместимых покрытий, очевидно, также непосредственно влияют на их коррозионную стойкость. Таким образом, микроплазменное напыление должно обеспечить желаемые показатели пористости покрытий (размеры пор и их процентное содержание в покрытии), заданную толщину покрытия, удовлетворительную прочность сцепления покрытия с подложкой и шероховатость поверхности.

Нами было предложено для повышения прочности сцепления имплантата с костью формировать микроплазменным напылением титановой проволоки на поверхности имплантата градиентные покрытия состава: плотный титановый слой, обеспечивающий сцепление с подложкой, затем пористый титановый слой, а затем микроплазмой наносить порошок гидроксиапатита, чтобы обеспечить остеоинтеграцию [9-11]. Управлять структурными параметрами покрытия возможно, варьируя параметры микроплазменного напыления. Описание используемой технологии микроплазменного напыления с указанием и обоснованием выбора режимов обработки поверхности приводится в наших работах [9-11].

Целью данного исследования было определение пористости и шероховатости напыленных микроплазмой на имплантаты из титанового сплава биосовместимых покрытий и

выявление влияния данных параметров на коррозионную стойкость имплантатов.

Образцы имплантатов из титановых сплавов марки Grade 5 ELI, стандартного состава в мас.%(max) (Ti – основа, Fe -0,25-0,40, N – 0,05%, O – 0,13-0,20, Al – 5,50-6,75, C – 0,08, V- 3,50-4,50, H – 0,015), изготавливались на станках с ЧПУ DMG MORI CTX 510 ecoline и DMG MORI DMU 50. Для получения биосовместимой поверхности использовали метод микроплазменного напыления. Микроплазматрон МПН-004 производства Института электросварки им. Е.О. Патона (Украина) закрепляли в захвате индустриального робот-манипулятора KawasakiRS-010LA (KawasakiRobotics, Япония) и перемещали вдоль поверхности имплантата по заданной траектории, соблюдая перпендикулярность плазменной струи к поверхности имплантата и заданное расстояние до поверхности. Перед микроплазменным напылением поверхность титанового имплантата подвергалась газоабразивной обработке.

Для нанесения титанового покрытия была использована проволока диаметром 0,3 мм из титана марки ВТ-1-00 (ГОСТ 19807-91), содержание в мас. % (max): Ti – основа, Al – 0,3, Fe – 0,15, Si – 0,08, C – 0,05, N -0,03, H – 0,003, O – 0,12. Для нанесения поверхностного слоя покрытия использовали ГА-порошок с молярным соотношением Ca/P-1.67, со средним размером частиц, варьирующимся в пределах 50...80 мкм.

Нанесение градиентных покрытий из титановой проволоки проводилось с осаждением последовательно плотного слоя, прилегающего к подложке, затем пористого слоя толщиной 200 мкм. Толщина покрытия из ГА-порошка составляла 100 мкм. Изучение пористости покрытий проводили с использованием растрового электронного микроскопа JSM-6390LV (JEOL, Япония) с приставкой энергодисперсионного анализа INCA ENERGY (OxfordInstruments, Великобритания). Для оценки пористости покрытий изображения их микроструктуры, полученные методами СЭМ, обрабатывались с помощью компьютерной программы Marker 2.

Исследования шероховатости поверхности проводили и с использованием профилометра MarSurf PS 10 (Mahr, Австрия), определяя коэффициент шероховатости Ra, мкм. Коррозионные испытания биосовместимых покрытий проводились методом потенциометрии на потенциостате-гальваностате Elins-P150 (Россия), в 5% растворе HCl при температуре 55°C.

Изображения микроструктуры микроплазменных двухслойных покрытий Ti/GA представлены на рис. 1, 2. Достигнут желаемый уровень пористости в нижнем слое титана (30 об. %) (рис. 2, а). Размеры пор в обоих покрытиях составляют 20-100 мкм (рис. 1, 2). Пористость покрытия ГАП составляет около 10% (рис. 2, б).

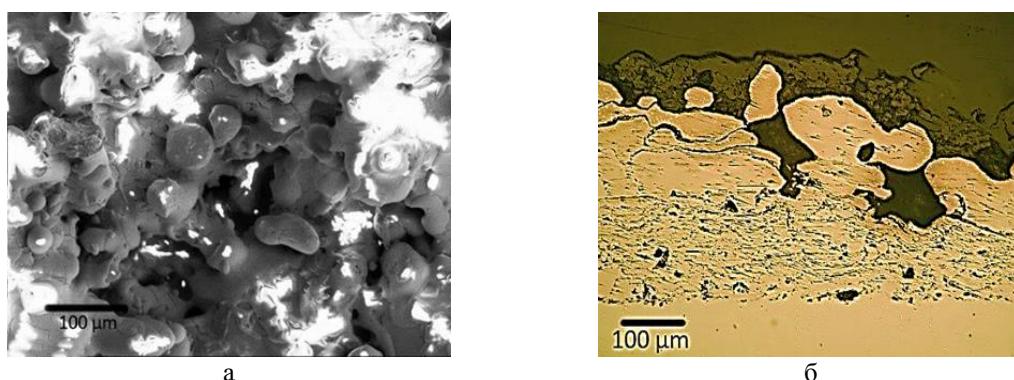


Рисунок 1 - Двухслойное покрытие с нижним слоем титана и верхним слоем ГА: поверхность покрытия (а), поперечное сечение (б)

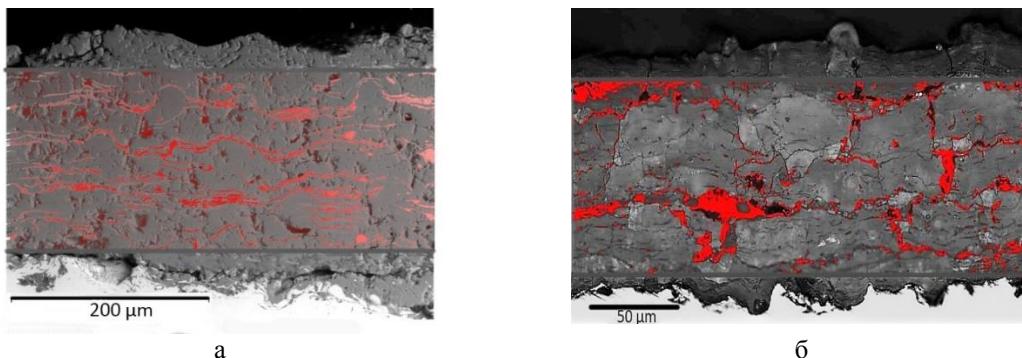


Рисунок 2 - Результаты измерения пористости покрытий из Ti (а) и ГА (б); красным цветом за-  
крашены поры (результат компьютерной обработки изображения)

Обобщенно результаты исследования пористости и шероховатости поверхности титанового сплава и биосовместимых покрытий представлены в табл. 1, а испытаний на коррозионную стойкость показаны в табл. 2. Показаны усредненные значения по данным серии испытаний по 5 образцам.

Таблица 1  
Значения шероховатости поверхности и пористости покрытий

№ серии образца	Материал и обработка	Шероховатость, Ra, мкм	Пористость, %
1.	Титановый сплав полированный	0,75±0,05	Неприменимо
2	Титановый сплав после газоабразивной обработки	6,8±0,5	Неприменимо
3	Первый слой Ti толщиной 200 мкм на подложке из серии 2	12,5±0,7	5
4	Второй слой Ti толщиной 200 мкм на подложке из серии 3	45-50	30
5	Верхний слой ГА толщиной 100 мкм на подложке из серии 4	45-50	10

Таблица 2  
Скорость коррозии ( $R_{corr}$ , см/год) образцов в 5% растворе HCl при температуре 55 °C

$R_{corr}$ , см/год	Номер серии образцов				
	1	2	3	4	5
	0,801	0,803	0,285	0,433	0,658

Шероховатость поверхности пористого титанового покрытия и покрытия из гидроксиапатита не может быть точно измерена, так как она слишком велика, по оценкам в области 45-50 мкм (рис. 3).

Высокая антакоррозионная устойчивость полированного титанового сплава (серия 1, табл. 2) обусловлена образованием в кислородсодержащей среде плотной оксидной пленки, при обычной температуре устойчивой к действию большинства агрессивных сред. Стабильная оксидная пленка препятствует дальнейшему взаимодействию ионов металла с кислородом, что и обеспечивает коррозионную устойчивость, поэтому испытания образцов проводились в 5% растворе соляной кислоты с подогревом до 55 °C, поскольку в

других растворах (солевой или азотной кислоты) при температурах до 55 °С скорость коррозии была настолько мала, что была сравнима с фоном. В целом скорость коррозии по всем образцам невысокая, но при газоабразивной обработке нарушается оксидная пленка, возникают участки на поверхности с различием потенциалов, и скорость коррозии растет (серия 1, табл. 2). При нанесении плотного слоя покрытия из чистого титана скорость коррозии резко замедляется (серия 3, табл. 2), и даже для сплава с пористым титановым покрытием она ниже, чем для сплава без покрытия. Данные результаты отвечают требованиям к необходимому уровню электрохимической стойкости имплантата с биосовместимым покрытием в биосредах (рис 3).

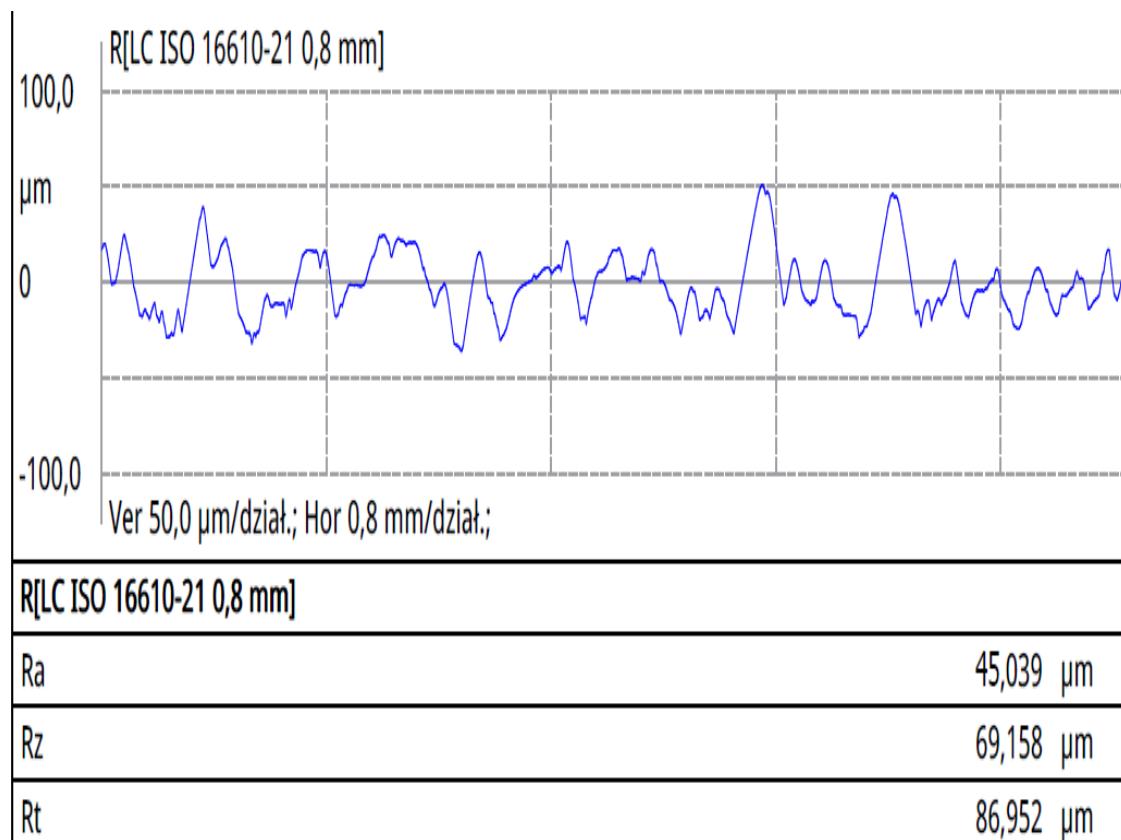


Рисунок 3 – Кривая измерения шероховатости поверхности градиентного титанового покрытия (серия 4)

В большинстве случаев температура оказывает значительное влияние на скорость электрохимической коррозии металлов, так как изменяет скорость диффузии, перенапряжение анодных процессов, степень анодной пассивности, растворимость деполяризатора и вторичных продуктов коррозии [12]. Например, в кипящей 10%-й HCl скорость коррозии титана составляет 11,43 см/год. В ряде случаев влияние температуры на скорость коррозии металла обусловлено изменением свойств защитной пленки. Поэтому нами дополнительно была изучена зависимость влияния температурного фона на скорость коррозии в 5% растворе соляной кислоты в температурных пределах 25-55 °С (рис. 4).

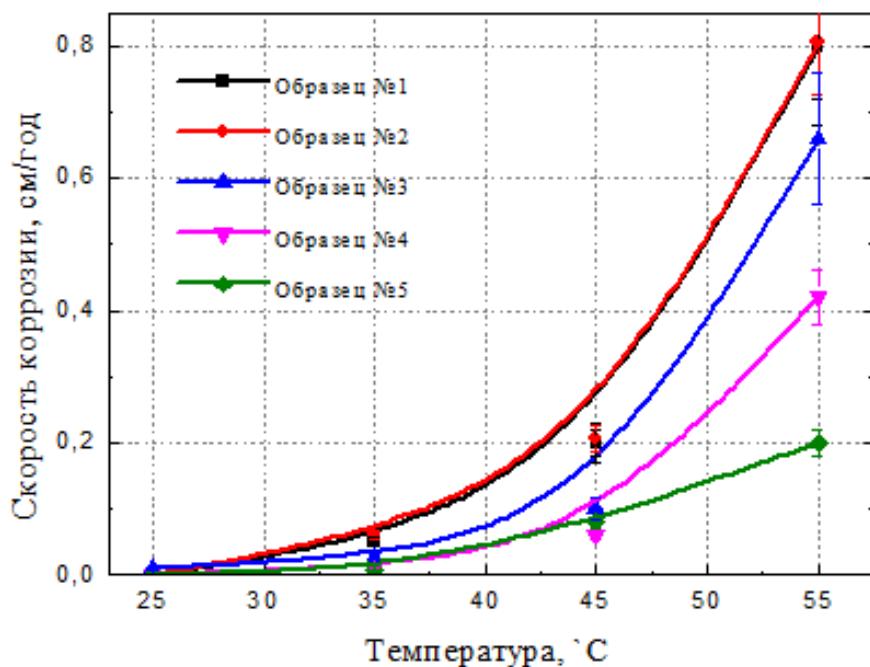


Рисунок 4 –Зависимость скорости коррозии титана в соляной кислоте от температуры

Видно, что скорость процесса коррозии титана в соляной кислоте при повышении температуры до 55 °C резко растет (рис. 4). Данный факт можно объяснить относительно высоким уровнем скорости разрушения оксидной пленки, что в целом согласуется с литературными данными [12]. Например, скорость коррозии титана при температуре 25 °C в 5% растворе соляной кислоты составляет 0,00042 см/год, в кипящей кислоте – 5,6 см/год.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы. Методами микроплазменного напыления на имплантаты эндопротезов из титанового сплава Grade 5 ELI нанесены многослойные покрытия из чистого титана BT-1-00 и гидроксиапатита. Достигнут желаемый уровень пористости и шероховатости покрытий, что должно повысить их биосовместимость, установлено влияние этих параметров на коррозионную стойкость, высокая коррозионная стойкость подтверждена экспериментально.

Исследование проведено по проекту 0006/ПЦФ-17 «Выпуск титановой продукции для дальнейшего использования в медицине»

#### Список литературы

1. Tobin E.J.: Recent coating developments for combination devices in orthopedic and dental applications. A literature review. *Advanced Drug Delivery Reviews* 112 (2017) 88-100.
2. Surface Modifications and Their Effects on Titanium Dental Implants A. Jemat, M. J. Ghazali, M. Razali, and Y. Otsuka / Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International Volume 2015, Article ID 791725.
3. DePuy Internal Test Report: WR070125; 2007.
4. Goodman S.B., Yao Z., Keeney M., Yang F.: The Future of Biologic Coatings for Orthopaedic Implants. *Biomaterials* 34 (2013) 3174-3183.
5. Heimann Robert B. Materials Science of Bioceramic Coatings: An Editorial. *The Open Biomedical Engineering Journal* 9(2015) 25–28.

6. Matassi F., Botti A., Sirleo L., Carulli C., Innocenti M.: Porous metal for orthopedics implants Clin. Cases Miner. Bone Metab 10(2) (2013) 111-115 PMID: 24133527.
7. Standard Specification for Composition of Ceramic Hydroxyapatite for Surgical Implants, ASTM F1185-03, ASTM International, 2003.
8. Implants for Surgery- Hydroxyapatite. Part 2: Coatings of Hydroxyapatite. International Organisation for Standards. BS ISO 13779-2:2000, 2000.
9. Alontseva D.L., Borisov Yu.S., Voinarovych S.G., Kyslytsia O.N., Prokhorenko N.V., Russakova A.V., Krasavin A.L., Bektasova G.S. Development of microplasma spraying technology for applying biocompatible coatings. Materials Physics and Mechanics 39, 2018. - P.102-110.
10. Alontseva D., Krasavin, A., Nurekenov, D., Ospanov O., Kusaiyn-Murat, A., Zhanuzakov, Y. Software development for a new robotic technology of microplasma spraying of powder coatings. Przegląd Elektrotechniczny. - Vol. 94. - No7. - 2018. - P. 26-29.
11. Alontseva, D.L., Abilev M. B., Zhilkashinova A. M., Voinarovych S. G., Kyslytsia O. N., Ghassemieh E., Russakova A.V., Łatka L. Optimization of hydroxyapatite synthesis and microplasma spraying of porous coatings onto titanium implants. Advances in Materials Science, Vol. 18, No. 3 (57), 2018. - P.79-94.
12. Князев А.В. Исследование наноразмерного гидроксиапатита на модели invitro / А.В. Князев, Е.Н. Буланов, Д.Я. Алейник и др. // Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. – 2012. – № 5 (1) – С. 88-94.

Получено 17.04.2019

МФТАА 29.19.25, 29.19.03

**Д.Л. Алонцева, Н. Қантай, А.В. Русакова, С.С. Герт, А.В. Джес, А.Б. Садибеков**

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен қ.

**РОБОТТАНДЫРЫЛГАН МИКРОПЛАЗМАЛЫҚ ТОЗАНДАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫМЕН ТИТАН ИМПЛАНТАНТАРЫНА БИОУЙЛЕСІМДІ ЖАБЫНДАРДЫ ҚАПТАУ**

*Мақалада медициналық имплантаттар мен аспалтарға ұнтақ және сым материалдарынан жасалған биоуилесімді жабындарды микроплазмалық жағу технологиясы мен жабдықтары сипатталады. Авторлар медициналық бүйімдарды өндіруге арналған технологияны енгізу перспективаларын талқылайды.*

*В статье описывается оборудование и технология микроплазменного нанесения биосовместимых покрытий из порошковых и проволочных материалов на медицинские имплантаты и инструменты. Авторы обсуждают перспективы внедрения технологии для производства медицинских изделий.*

*The paper describes the main technological modes of robotic microplasma spraying and presents the results of the study of the structural and phase composition of coatings from biocompatible materials on titanium implants.*

**Түйінді сөздер:** микроплазмалық қаптау, робот-манипулятор, биоуилесімді жабындар, титан, гидроксиапатит, титан қорытпалары.

Казіргі уақытта плазмалық бүрку әдістерімен қолданылатын жабындар кең қолдану түрлеріне ие. Олар медицинада тозған бөлшектердің бетін қалпына келтіру үшін қолданылады [1-4]. Плазма ағынында ерітілген сымдардың немесе ұнтақтардың бөлшектерін инертті тасымалдаушы газ атмосферасына ауыстырып, субстратқа соғатын газ-жылуды бүрку процесі, оған бекітіліп, жабын қалыптастырады, биоуилесімді материалдардан жабындарды қалыптастырудың маңызды ерекшелігі бар, атап айтқанда, кеуекті және өрекел қаптамалардың пайда болуын қамтамасыз етеді. Жабынды материалдағы кеуектердің көлемі мен таралуы негізінен тозандуа параметрлері бойынша

анықталады: плазмалық көздің қозғалыс жылдамдығы, плазмалық ағындағы ағымдық қарқындылық, уақыт бірлігіне плазмалық ағынға жеткізілетін материал қолемі және т.б. [1, 5]. Кеуекті құрылымы мен жабысқақ беті импланттағы тесіктердің сүйек тіндерінің тиімді өсуіне және оның сүйекке сенімді бекітілуіне ықпал етеді, бұл әсіресе сүйекке өсетін эндопротездер үшін, мысалы, тіс имплантаты немесе жамбас буындарының имплантат беліктегі сияқты маңызды. Гидроксиапатит немесе титанның қаптамалары эндопротез жасау практикасында ұзақ уақыт қолданылғанына қарамастан [2, 3, 6], осы технологияларды дамыту мен іске асyруға қатысты бірқатар мәселелер шешілмей қалуда. Тозаңдау үрдісінде пайда болатын материалдарды жабудағы құрылымдық-фазалық өзгерістерді [7-10] және ағзаның эндопротезі кезінде болжаса қажет [11, 12]. Әрине, тірі организмдегі жабын мен импланттың мінез-құлқы олар жасалатын материалдарға байланысты.

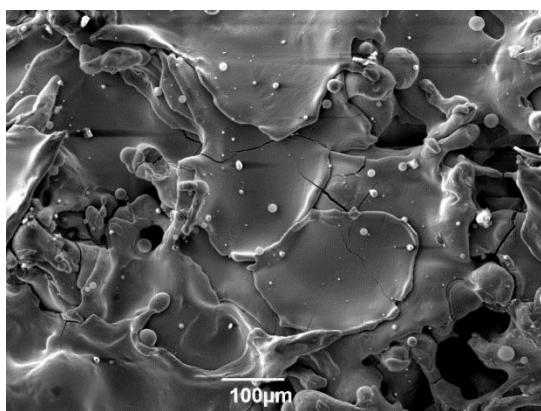
Қазіргі уақытта титаннан жасалған имплант эндопротез ретінде жиі қолданылады [6, 10, 11]. Өкінішке орай, адам ағзасының имплантаттарын қабылдамау мүмкіндігі және тиісінше, емдеудегі қосымша асқыну ықтималдығы бар. Қабылдамауды болдырмау үшін имплантант пен сүйек арасында табиғи адам сүйегінің құрамымен максималды түрде сәйкес келетін биоүйлесімді жабыннан тұратын өтпелі аймақты құру маңызды. Мұндай жабындар үшін материал ретінде негізінен синтезделген гидроксиапатит (ГА) қолданылады, олардың құрылымдық фазасының күйін және қасиеттерін сүйек мата параметрлері бойынша олардың арасындағы үйлесімділікті арттыру үшін пайдаланады. Гидроксиапатит (ГА) апатит тобынан кальцийфосфатты минерал  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  болып табылады. Тірі ағзаның ГА-жабыннымен имплантациясына сүйкіткіштің әсер етуі кезінде, осындағы химиялық ұнтақты плазмалық бұрку үрдісінен туындастын осындағы фазалардың қаптамасынан еруі орын алады, имплантат бекіту және оның кейінгі әрекеті үшін жағдайларды анықтайтын аморфты ГА және үш-кальций фосфатының (ҮКФ)  $\beta$ -фазасы [7, 12]. Сондықтан, гидроксиапатит ұнтағының плазмалы бұрку процесінің аморфты және  $\beta$ -ҮКФ фазаларының мөлшеріне жабындарда қалыптасқан үрдістің негізгі факторларының әсерін анықтау технологияны дамыту үшін қажет. Сүйек тінінің жаксы өсуін қамтамасыз ететін поршеньдік мөлшері туралы консенсус әлі қалыптасғанымен, [6, 10, 11] сүйек тіндерінің және қан тамырларының табысты өсуі үшін кемінде 150 мкм болатын тери тесіктері қажет екендігі байқалады.

Осы зерттеудің мақсаты – роботталған микроплазмалық тозаңдау технологиясын әзірлеу, атап айтқанда, биоүйлесімді жабындардың композициялары және титан импланттарындағы биоүйлесімді материалдардан жабындарды роботтық микроплазмалық тозаңың тікелей режимдері, ELIGrade 5 медициналық титан қорытпасынан жасалған, қаптамаларда қажетті құрылымдық фазалық күй қалыптастыруды қамтамасыз етеді.

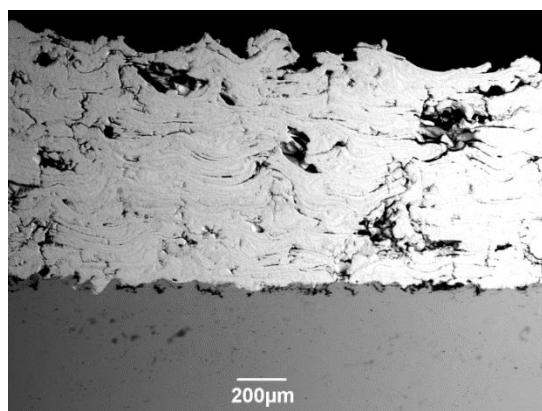
Қазіргі уақытта Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті құймалардан медициналық имплантанттардың тәжірибелік шағын өндірісін игерді, ол Қазақстанның металлургиялық кәсіпорындарында өндірілген. Бұл зерттеу осы имплантанттардың биокомпаниясын арттыру, адамдар мен жануарлардың сынақтарын өткізбеу мақсатында жасалды. Екі қабатты жабынды микроплазмалық бұрку үшін электрлік дәнекерлеу институтының мамандары дайындаған МПН-004 микроплазмасының алауы пайдаланылды. Е.О. Патон (Киев, Украина) және индустріялық робот қолына бекітілген (Kawasaki RS-010LA, KawasakiRobotics, Жапония). Grade 5 ELI субстраттар титан қорытпасының маркасының үлгілері ретінде қызмет етті, стандартты құрамы: % (max) Ti - негіз, Fe. -0.25-0.40, N - 0.05%, O - 0.13-0.20, Al - 5.50 - 6.75, C - 0.08, V - 3.50-4.50, H - 0.015. Бірінші жабынды қабатын қолдану үшін

титан BT-1-00 маркалы 0,3 мм диаметрі (МЕМСТ 19807-91) сым пайдаланылды, құрамы, % (макс.): Ti - базасы, Al. - 0.3, Fe. -0.15, Си - 0.08, С - 0,05, Н -0,03, Х - 0,003, О - 0,12. Екінші жабын қабатын қолданған кезде, ГА ұнтағысы орташа салмағы 1,07 г/см<sup>3</sup> және бөлшектердің тығыздығы 2,995 г/см<sup>3</sup> болатын 50-ден 80 микронға дейін өзгеретін, Са / Р-1.67 молярлық қатынасында пайдаланылды. Қаптамалар мен субстраттардың құрылымдық-фазалық құрылымын зерттеу JEM-2100 (JEOL, Жапония) бойынша жарық өткізгіш электронды микроскопия (ЖЭМ) әдістерімен жүргізілді және X'Pert PRO дифрактометріндегі рентгендік талдау (PANalytical, Нидерланды). сканерлеуші электронды микроскопия көмегімен (СЭМ) JSM-6390LV (JEOL, Жапония) материалдардың элементтік құрамы, жабынның микропұралымы және беткі морфологиясы зерттелді, INCA ENERGY (Oxford Instruments, Біріккен Корольдік) энергетикалық дисперсті префиксі талдағышы бар. Қаптамалардың кеуектілігі, олардың микропұралымының суреттері СЭМ арқылы алынған, Marker 2 компьютерлік бағдарламасының көмегімен өндөледі. ЖЭМ зерттеулеріне арналған жабын үлгілері PIPS 691 дәл жылтырату жүйесі (Гатан, АҚШ) арқылы дайындалды. Стандартты әдістерді пайдалана отырып, ЖЭМ зерттеулеріне арналған ГА ұнтақтарының үлгілері дайындалды. ЖЭМ және рентгендік құрылымдық фаза талдауы арқылы алынған фазалық құрам туралы деректерді салыстырмалы талдау жүргізілді. Рентгендік дифракцияның үлгілері PCP лицензиялық деректері DFWIN (140,000 косылым) және DiffractsPlus, ASTM картасы файлдары.

Әдеби мәліметтерді талдауға негізделген [2, 6, 9, 10], біз екі қабатты жабын титан / ГА композициясын ұсындық. Сүйек тінін өсіру үшін, газды абраузивті имплантация әдісімен алдын ала өндөлген имплантанттың бетінде 150 мкм мөлшерінде тесік мөлшері бар 200-ден 300 мкм калындығы бар кеуекті титан қаптамасын құру ұсынылды. Имплантанттың титан қабатының биокомпьютерлік қасиетін жақсарту үшін гидроксиапатит қабатын қолдану ұсынылды. Жетілдірілген беткі морфологиясы бар титан сублайердің болуы (1-сурет) имплантат бетімен гидроксиапатит қабатының адгезия беріктігін арттырады. Титан қорытпасынан дайындалған субстрат микропұралымының және оны газды абраузивтік өндеу параметрлерін егжей-тегжейлі сипаттауға болады [8]. Микроплазманың бүркү параметрлері параметрлердің ауытқуы бар мультифакторлық эксперимент негізінде анықталды: ағымдық беріктік, плазмалық газ шығыны, шашырау қашықтығы, сым немесе ұнтақ беру жылдамдығы [8].



a



б

1-сурет – Титаның медициналық қорытпасының субстратында микроплазмаға тұндыруға арналған Т-жабынның (а) және көлденең қимасының СЭМ суреттері

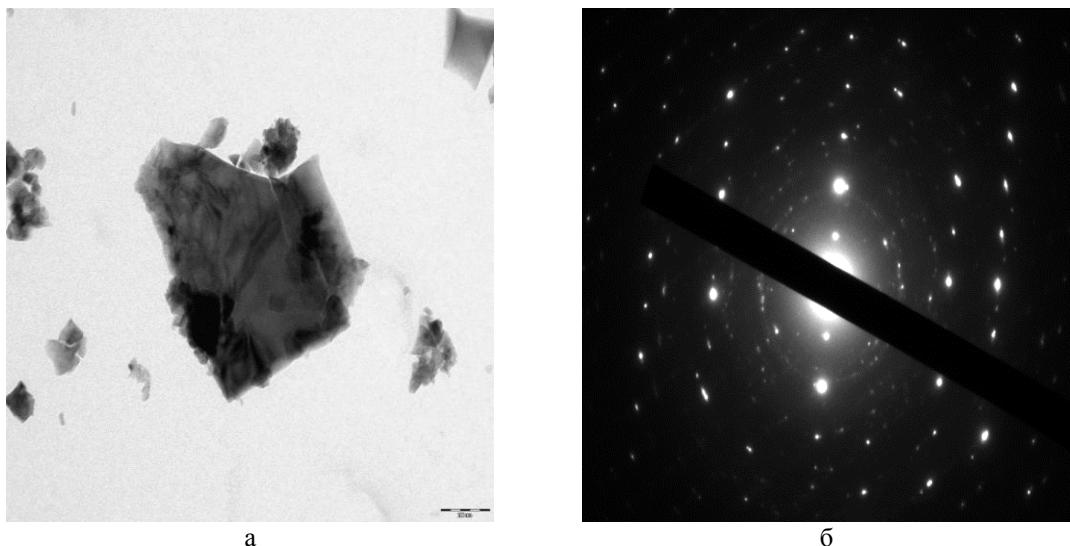
Плазматронның қозғалыс жылдамдығы эксперименталды түрде таңдалды. Аргон плазма құрайтын және тасымалдайтын газ болды, субстратты қосымша жылдыту жүргізілмеді. 1-кестеде параметрлері берілген, онда титан сублиларының қажетті кеуектілігі  $3,7 \cdot 10^4$  пор/см<sup>2</sup>, сипаттамалары бар: 150 мкм орташа кеуекті өлшемі, жабудағы тесіктердің көлемдік үлесі шамамен 30% құрайды (сурет 2), сонымен қатар ГА қабатының кристаллидінің қажетті дәрежесі: 93 мас. % кристалдық фазасы, 2 мас. % аморфты фаза, 5 мас. % фаза  $\beta$ -ҮКФ.

1-кесте

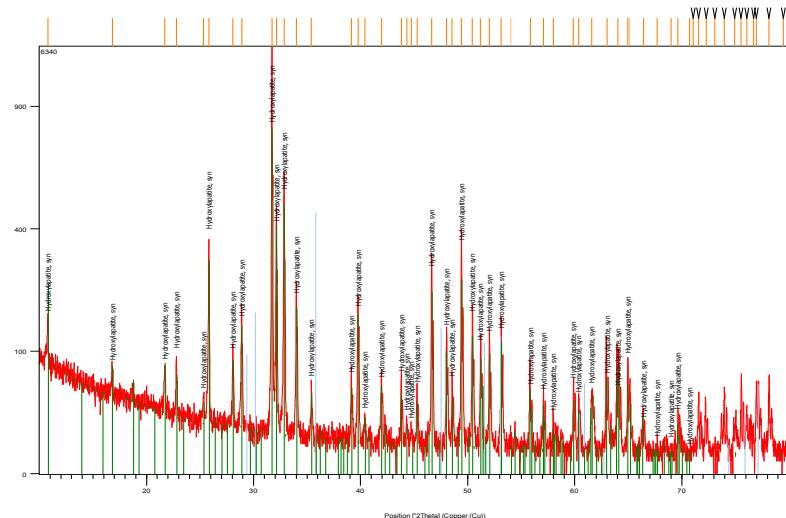
*Микроплазмалардың жабынының параметрлері*

Параметрдің атауы, (өлшем бірлік)	Қантамасы мен параметрлері	
	Ti- сым	ГА-ұнтақ
Ток қүші, (А)	16	45
Плазма газ шығыны Ar, (литр/саг.)	140	60
Тозаңдау қашықтығы, (мм)	40	160
Сым шығыны (м/мин) немесе ұнтақ (г/мин)	3	0.4
Плазмотронның қозғалу жылдамдығы, (мм/с)	50	50

Бастапқы ГА-ұнтағының рентгендік құрылымдық және ЖЭМ талдауының нәтижелері аморфты фазаның болуын көрсетпейді (2-сурет және 3-сурет), ол микроплазмалық тозаңдау үрдісінде пайда болады, қаптаудағы оның үлесі тозаңдау режимдеріне байланысты. Біз бұл мәселе клиникалық зерттеулердің нәтижелерімен болашақта мұқият зерделеуді және салыстыруды талап етеді деп есептейміз, себебі қазіргі уақытта биохимпаттық қасиеттерге ГА жабынындағы аморфтық фазаның көлемін біржакты бағалау мүмкін емес.



2-сурет – ЖЭМ – бастапқы ГА ұнтағының бөлшектерінің бейнесі (а) және тиісті микроэлектрондық дифракция үлгісі



3-сурет – ГА-ұнтағы рентгендік спектрі HighScorePlus бағдарламасында өндөлген

ГА-жабынының құрылымы да кеуекті болып табылады және титан сублайерінде қазірдің өзінде қалыптасқан үлкен тесіктер бүркү кезінде ГА-ұнтағының кішкене ендірілген бөлшектерімен бітелмеген, екі қабатты қаптау кеуектілігін тұтастай қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, қаптаманың жалпы қалындығы кеуектілікten және имплантанттың металды тірі организмнің қоршаған ортасымен өзара әрекеттесуімен және өзара әрекеттесуінен аулақ болуға мүмкіндік береді.

Имплантттардың бетіне микроплазманы қаптау технологиясын енгізуіндегі негізгі қындықтары күрделі пішіндегі беттерге біркелкі тұндыруды қамтамасыз етіп, бетіне 75-90° шеңінде тозаңдау бұрышын сактайды. Ұсынылған технологияның жаңалығы негізінен бақылаудың алгоритмдерін және белгілі бір 3D траекторияларында берілген жылдамдықта робот қолын ауыстыру үшін бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеуде жатыр [13, 14].

Жалпы алғанда, микроэлементтерді биоуїлесімді тозандау технологиясын енгізу үшін қажетті бетінің кедір-бұдырын қамтамасыз ету қажет, бөлшектердің дисперсиясы және гидроксиапатит ұнтағының сүйилтүү, сондай-ақ плазмалық алаумен немесе субстратпен автоматтандырылған манипуляцияларды, көрсетілген қалтау параметрлері бар жабындарды қолдану.

Медициналық имплантанттар мен аспаптарға биоүйлесімді жабындарды қолдану үшін микроплазмалық тозандау құралы мен технологиясы әзірленді. Жабуға арналған материалдар ретінде биоүйлесімді материалдардың сымдары мен ұнтақтары пайдаланылуы мүмкін. Бұл жағдайда микроплазмалық тозандау әдісін қолдану осы жабындардың қалаған және бақыланатын кеуектілігін қамтамасыз ете алады. Имплантанттар мен медициналық құралдар сияқты қурделі бөліктерде тұрақты сипаттамалары бар биоүйлесімді қаптамаларды табысты қолдану үшін, өнімнің бүріккіш беті бойымен қурделі траектория бойынша плазмалық алаудың біркелкі қозғалысын қамтамасыз ету қажет. Осы мақсатта Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ-дағы робототехникалық құралды және тиісті бағдарламамен шашыратуға арналған қондырғыны жабдықтау қажет болады. Осылайша, біз әзірлеген бұл роботтық кешенде және микроплазмалық дәл тозандау технологиясын қолдану биоүйлесімді жабындарды медициналық имплантанттар мен аспаптар үшін бақыланатын кеуектілікке қолдануға

мүмкіндік береді. Титан өндірісіндегі әлемдік көшбасшы, медициналық титан корытпаларын АҚ «ӨК ТМК» компаниясы шығарған.

**Алғыс:** зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің ғылым комитетінің ғылыми-техникалық бағдарламаны қаржыландыруға бағытталған бағдарлама аясында қаржылық қолдауымен өткізілді: «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университетінің мақсатты ғылыми-техникалық бағдарламасы. 2017-2019 жылдарға арналған Шығыс Қазақстан облысының жетекші өнеркәсіптік кәсіпорындарында өндірілетін өнімнің жана түрлерін дамытуға бағытталған, 0006/ПЦФ-17 «медицинада одан әрі пайдалану үшін титан өнімдерін шығару» кіші бағдарламасы бойынша»

#### Әдебиеттер тізімі

1. Vardelle A., Moreau Ch., Nickolas J., Themelis A. Perspective on Plasma Spray Technology Plasma Process. – 2015. P. 491-509.
2. Heimann Robert B.: Materials Science of Bioceramic Coatings. The Open Biomedical Engineering Journal 9. – 2015. P. 25-28.
3. Lyasnikova A.V., Markelova O.A., Lyasnikov V.N., Dudareva O.A. Biocomposite Plasma - Sprayed coatings Based on Zink-Substituted Hydroxyapatite: Structure, Properties and Prospects of Application // Mechanics of Composite Materials. - 2016. - Vol. 51. - No 6. - P. 801-804.
4. Алонцева Д.Л. Разработка технологии микроплазменного нанесения биосовместимых покрытий для изготовления медицинской продукции / Д.Л. Алонцева, Н.В. Прохоренкова, А.В. Русакова и др. // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. Серия техническая. – 2017. – № 3 (77). – С.65-71.
5. Tucker R.C. Introduction to Coating Design and Processing ASM, Thermal Spray Technology: Handbook. 2013. – v.5A. - P. 76-88.
6. Hench L.L., Polak J.M. 3D Printed Scaffolds as a New Perspective for Bone Tissue-Regeneration: Literature Review // Science. – 2002. – v.295. - P. 1014-1017.
7. Xina R., LengaYa., Wangb Ni. // Journal of Crystal Growth. – 2006. – v. 289. – P. 339-344.
8. Алонцева Д.Л. Фундаментальные проблемы современного материаловедения / Д.Л. Алонцева, С.Г. Войнарович, О.Н. Кислица.. – 2018. – Т. 15. - No 1. – С. 135-142.
9. Борисов Ю.С. Влияние параметров микроплазменного напыления на структуру, фазовый состав и текстуру покрытий из гидроксиапатита. / Ю.С. Борисов, А.Л. Борисова, С.Г. Войнарович и др. // Автоматическая сварка. – 2008.– № 4. – С. 15-20.
10. Ющенко К.А. Двухслойное биокерметное покрытие титан-гидроксиапатит / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, С.Г. Войнарович и др. // Автоматическая сварка. – 2011.– № 12. – С. 46 – 49.
11. Geesink R. G. T., Manicy M. T. // Hydroxylapatite Coatings in Orthopedic Surgery, R. G. T. Geesink and M. T. Manicy Eds. New York: Raven Press, Ltd. – 1993. - pp. 1-319.
12. Fazan F., Marquis P.M. Dissolution behavior of plasma-sprayed hydroxyapatite coating // J. Mater. Sci. Mater. Med. – 2000. – v.11. – P. 787–793.
13. Алонцева Д.Л. Разработка программного обеспечения для роботизированного микроплазменного напыления биосовместимых покрытий при производстве медицинских изделий / Д.Л. Алонцева, А.Л. Красавин, Д.М. Нурекенов и др. // Совместный выпуск научных журналов «Вестник» ВКГТУ им. Д. Серикбаева и «Вычислительные технологии» Института СО РАН. - - 2018. - № 3. - Т. 1. - Ч. 2. - С. 20-27.
14. Alontseva D., Krasavin A., Nurekenov D., Ospanov O., Kusaiyn-Murat A., Zhanuzakov E Software Development for a New Robotic Technology of Microplasma Spraying of Powder Coatings // Przegląd Elektrotechniczny. - Vol. 94. - No7. - 2018. - P. 26-29.

Қабылданды 17.04.2019

УДК 004.93

**О.Е. Бакланова, Е.В. Рыжкова**

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

**ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ**

*В данной статье рассматриваются методы обработки изображения с применением машинного зрения, возможность замены визуального контроля качества технологических изделий в сферах промышленности, требующих высокоточных измерений.*

*Бұл мақалада машиналық көрүді қолдана отырып бейнені өңдеу әдістері, жоғары дәлдікі өлшеуді талап ететін өнеркәсіп саласындағы технологиялық бұйымдардың сапасын визуалды бақылауды ауыстыру мүмкіндігі қарастырылады.*

*This article deals with image processing techniques using machine vision, the ability to replace visual quality control of technological products in industries requiring high-precision measurements.*

**Ключевые слова:** визуальный контроль качества, компьютерное зрение, распознавание изображений, цифровая фильтрация изображений, технологические изделия.

Государственная программа «Цифровой Казахстан» на 2017-2020 года [1] направлена на развитие и цифровые преобразования в отраслях экономики: развитие цифровой индустрии путем автоматизации транспортно-логической системы страны, внедрение цифровых технологий в сфере промышленности; обеспечение доступности цифровой информации; реализация технологий для создания умных городов. Большое значение цифровизации придает президент РК Н.А. Назарбаев: «Я объявил в своем Послании народу Казахстана о Третьей модернизации, стержнем которой является цифровизация» [2].

Для повышения темпов развития промышленности необходима оптимизация производственных этапов, одним из возможных этапов оптимизации является усовершенствование проведения контроля качества продукции. Как говорится в статье президента РК Н.А. Назарбаева о модернизации и внедрении цифровизации в производственный сектор, что применение машинного зрения возможно при проведении контроля качества промышленных изделий.

Машинное зрение - это непосредственно инженерное направление, к нему относят цифровые устройства ввода - вывода и компьютерные сети, предназначенные для контроля производственного оборудования, роботы-манипуляторы или аппараты для извлечения бракованной продукции. Машинное зрение - это направление в инженерии, связанное с вычислительной техникой, оптикой, машиностроением и промышленной автоматизацией. Одним из самых распространенных применений машинного зрения является инспекция товаров. Машинное зрение позволяет сохранить, записать изображения, форму, размеры, местоположение, а также текстуру изделия. Системы визуального контроля качества с помощью машинного зрения имеют высокую скорость работы, возможность 24-часовой работы, и точность и надежность работы.

В данной статье рассмотрена система контроля качества, использующая машинное зрение для распознания дефектов, связанных с несоответствием геометрических характеристик объекта. Применение машинного зрения позволит значительно улучшить визуальный контроль качества, облегчить его проведение, так в условиях производства визуальный контроль качества проводится чаще всего непосредственно около места изготовления определенной детали, при слабой освещенности, особенно утомительно это происходит в ночную смену, тем более при проведении проверки однотипных деталей. Приме-

нение на данном этапе машинного зрения позволит: исключить человеческий фактор при появлении брака, ускорить процесс производства, снизить затраты на оплату труда, тем самым сократить стоимость готового изделия, и самое главное, повысить качество продукции.

Далее рассмотрим возможности обработки изображений для получения возможности применения в разрезе проведения контроля качества с помощью машинного зрения. Изображение представляет собой один из непосредственно сложных сигналов.

Изображение позволяет получить сведения о нахождении объектов в пространственном положении и их геометрических параметрах, их текстурные особенности и передвижения в пространстве. Непосредственно распознавание изображения требует наличие эталонов или разбиение на классы объектов с соответствующими эталонами. Классификация методов распознавания изображений может быть представлено по типам используемых эталонов или способу предоставления объектов на входе системы распознавания [3]. Все существующие системы распознавания подразделяются на растровый, структурный или признаковый методы распознавания. К растровому подходу относят эталоны, которые являются непосредственно изображениями. Признаковый подход эталоны строят непосредственно используя на изображении признаки, то есть любые характеристики изображенного объекта распознавания. Структурный подход определяет эталонные описания, составленные на терминах структурных частей объектов распознавания и пространственных отношений между ними. Каждый пиксель распознаваемого изображения вкладывается в значение ноль или один. Стандартный способ распознавания объектов на изображениях состоит из: преобразование входного изображения в первоначальное изображение (предобрабатывается математическими преобразованиями); определение главных характеристик распознаваемого объекта; составление алгоритма классификации объекта. Способ распознавания создается на основе информации о изучаемой области и регулируется информацией, полученной в ходе экспериментов, получаемых при разработки метода распознавания изображений [4].

Рассмотрим подходы к выделению границ, которые подразделяются на две категории: методы, основанные на поиске нулей методы, и методы, основанные на поиске максимумов. С помощью вычисления «силы края» обычно используется определение первой производной, величины градиента и затем поиска местных максимумов силы края, используя предполагаемое направление границы, обычно перпендикуляр к вектору градиента, данные методы, основанные на поиске максимумов. Методы, основанные на поиске нулей, производят поиск пересечения оси абсцисс выражения второй производной, обычно нули Лапласиана или нули нелинейного дифференциального выражения. Непосредственно предобработкой к выделению границ чаще всего применяется сглаживание изображения фильтром Гаусса или Лапласиана. Методы выделения границ, существующие на данный момент, отличаются применимыми фильтрами сглаживания и алгоритмами рассчитывания силы края. Большинство методов для определения границ основаны на вычислении градиента изображения, они различаются типами фильтров, используемых для вычислений градиентов в x- и y-направлении. В результате сравнения с точки зрения распознавания изображений наиболее информативными считаются определение краев объектов, то есть их граница. Непосредственным носителем информации является не яркость, а граница объектов на изображении [5].

В результате проведения наблюдений с точки зрения распознавания изображений наиболее информативными являются очертания объектов, то есть их граница. Носителем информации является не яркость, а граница объектов на изображении. Одним из математических операторов выделения границ является математический оператор Собеля. Опе-

ратор Собеля [6] — дискретный дифференциальный оператор, вычисляющий приближённое значение градиента яркости изображения. Результатом применения оператора Собеля в каждой точке изображения является либо вектор градиента яркости в этой точке, либо его норма. Используется в области обработки изображений, в частности часто применяется в алгоритмах выделения границ. Оператор Собеля основан на свёртке изображения небольшими сепарабельными целочисленными фильтрами в вертикальном и горизонтальном направлениях, поэтому его относительно легко вычислять. С другой стороны, используемая им аппроксимация градиента достаточно грубая, особенно это сказывается на высокочастотных колебаниях изображения. Оператор вычисляет градиент яркости изображения в каждой точке [7].

Так находится направление наибольшего увеличения яркости и величина её изменения в этом направлении. Результат показывает, насколько резко или плавно меняется яркость изображения в каждой точке, а значит, вероятность нахождения точки на грани, а также ориентацию границы. На практике вычисление величины изменения яркости (вероятности принадлежности к грани) надёжнее и проще в интерпретации, чем расчёт направления. Математически градиент функции двух переменных для каждой точки изображения (которой и является функция яркости) — двумерный вектор, компонентами которого являются производные яркости изображения по горизонтали и вертикали. В каждой точке изображения градиентный вектор ориентирован в направлении наибольшего увеличения яркости, а его длина соответствует величине изменения яркости [8]. Это означает, что результатом оператора Собеля в точке, лежащей в области постоянной яркости, будет нулевой вектор, а в точке, лежащей на границе областей различной яркости, вектор, пересекающий границу в направлении увеличения яркости. Оператор использует ядра 3x3, с которыми сворачивают исходное изображение для вычисления приближённых значений производных по горизонтали и по вертикали [9]. Пусть  $A$  — это исходное изображение, а  $G_x$  и  $G_y$  — два изображения, на которых каждая точка содержит приближённые производные по  $x$  и по  $y$ . Они вычисляются следующим образом:

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} * A$$

и

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} * A,$$

где  $*$  обозначает двумерную операцию свертки.

Координата  $x$  здесь возрастает «направо», а  $y$  — «вниз». В каждой точке изображения приближённое значение величины градиента можно вычислить путём использования полученных приближённых значений производных:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \text{ (имеется в виду поэлементно).}$$

Используя эту информацию, мы можем также вычислить направление градиента:

$$\theta = \arctan \frac{G_y}{G_x},$$

где, к примеру, угол  $\theta$  равен нулю для вертикальной границы, у которой тёмная сторона слева.

Поскольку функция яркости известна только в дискретных точках, мы не можем определить производные до тех пор, пока не положим яркость дифференцируемой функцией,

которая проходит через эти точки. С этой дополнительной предпосылкой производную дифференцируемой функции яркости можно вычислить как от функции, с которой взяты замеры — точки изображения [10]. Оказывается, что производные в любой отдельной точке есть функции яркости от всех точек изображения. Однако приближения их производных можно определить с большей или меньшей степенью точности. Оператор Собеля представляет собой более неточное приближение градиента изображения, но он достаточно качественен для практического применения во многих задачах. Точнее, оператор использует значения интенсивности только в окрестности  $3 \times 3$  каждого пикселя для получения приближения соответствующего градиента изображения и использует только целочисленные значения весовых коэффициентов яркости для оценки градиента [11].

Программная реализация математического оператора Собеля может эффективно использовать SIMD-расширения системы команд современных процессоров (т. е. векторизация кода), при этом выигрыш в скорости вычисления оператора может составлять до пяти раз по сравнению с высокоуровневой реализацией. Ручное кодирование на языке ассемблера позволяет обогнать по скорости такие компиляторы, как Microsoft Visual C++ и Intel C++ Compiler [12].

Практическая реализация применение математического оператора Собеля была реализована в программе Matlab. В качестве объекта был выбран имплантат, изготовленный из титана на станке с ЧПУ, цветное изображение имплантата было загружено в программу Matlab. Затем осуществилось преобразование изображения в полутоновое (рис. 1), что позволяет уменьшить вес изображения, тем самым облегчает дальнейшую обработку изображений, а также их хранение, затем производится контурная обработка изображения (рис. 2), с помощью написанного программного кода в программе Matlab [13].

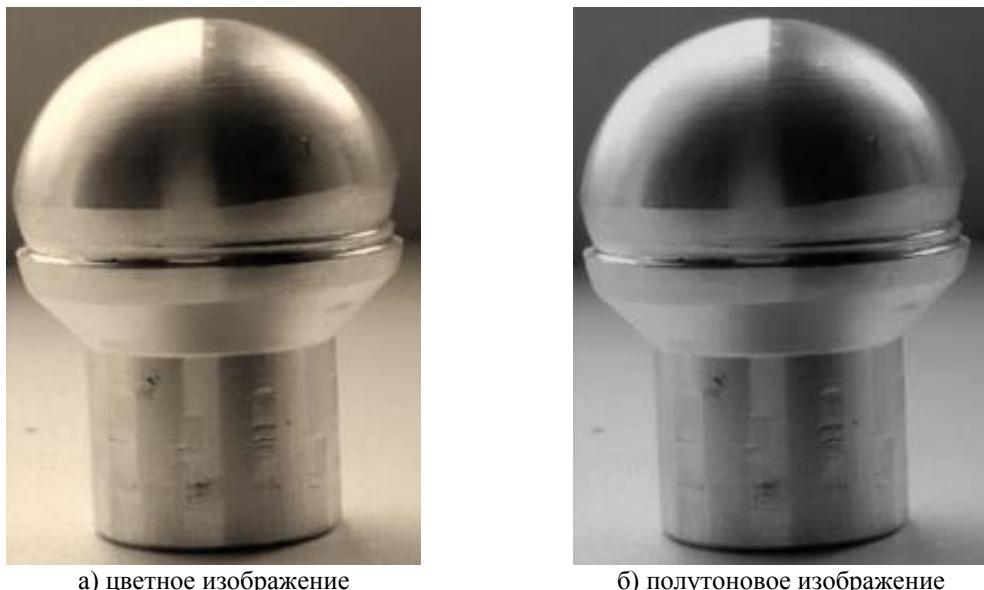


Рисунок 1 - Преобразование цветного изображения в полутоновое

В результате работы программы был выделен контур имплантата, по которому можно в дальнейшем при сравнении с эталоном определить наличие дефектов, появившихся в результате его обработки [14]. Полученное изображение контура имплантата показано на рис. 2.



Рисунок 2 - Выделение границ контуров с помощью математического оператора Собеля

Для получения наиболее зрительно воспринимаемого изображения производим инверсию полученного изображения после бинаризации, тем самым заменяя черный фон и белые контуры на белый фон и черные контуры изображения, делая изображения более привычным к восприятию человеческого глаза. Обработка изображений с помощью инверсии представлена на рис. 3, данная обработка была проведена после выделения контуров детали [15].

Этапы проведения контроля качества имплантата представлены на рис. 3.

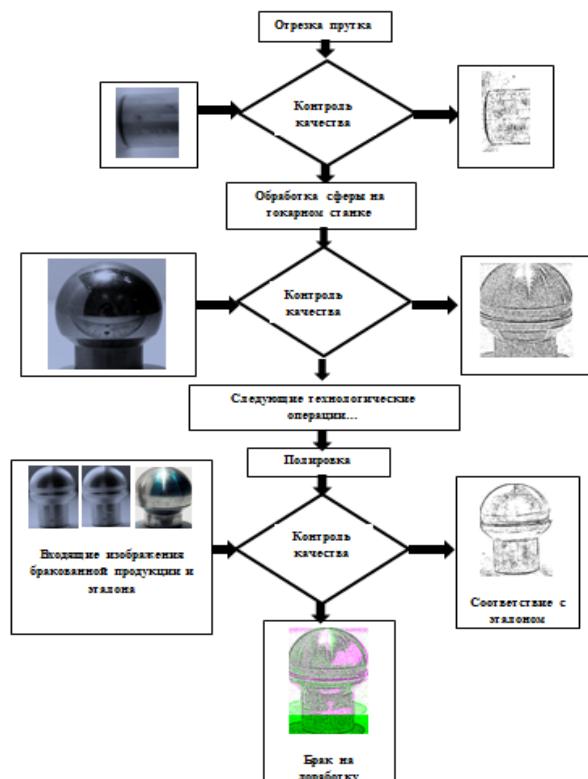


Рисунок 3 - Проведение контроля качества на этапах изготовления с применением машинного зрения

Контроль качества геометрических параметров складывается из визуального осмотра детали. Данный метод проведения контроля качества относится непосредственно к не-разрушающему контролю качества. На рис. 3 представлено поэтапное проведение визуального контроля качества с помощью машинного зрения.

Таким образом, в нашей статье рассмотрена обработка изображения с помощью математического оператора Собеля в программной среде Matlab с возможностью создать библиотеку данных с содержанием эталонов продукции, что позволит автоматически производить визуальный контроль качества с помощью машинного зрения, используя компьютер, программу Matlab, систему подобранных методов преобразования изображений. При сравнение с эталоном, представленном на рис. 3 в виде последнего этапа в проведении визуального контроля, виден результат работы программного продукта в среде Matlab. Программный продукт выдает результат сравнения эталона и проверяемой продукции, тем самым позволяя производить визуальный контроль с помощью алгоритмов компьютерного зрения. Все это позволит автоматизировать процесс контроля качества продукции на технологических стадиях производства.

#### Список литературы

1. Государственная программа «Цифровой Казахстан» на 2017-2020 года. - <https://zerde.gov.kz/images>.
2. Выступление главы государства Н.А. Назарбаева. - <https://ru.sputniknews.kz/>.
3. Машинное зрение. - <http://neuronus.com/>.
4. «Машинное» зрение: что и как видят автомобили. - <https://geektimes.ru/>.
5. Компьютерное зрение в сельском хозяйстве. - <http://cosmoport.club/post/>.
6. Обзор задач компьютерного зрения в медицине. - <https://habrahabr.ru/>.
7. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен / Р. Дуда, П. Харт / Пер. с англ. Вайнштейна Г.Г. и Васильковского А.М. — М.: Мир, 1976.
8. Ватутин Э.И. Программная оптимизация оператора Собела с использованием SIMD-расширений процессоров семейства x86 / Э.И. Ватутин, С.Ю. Мирошниченко, В.С. Титов. - Телекоммуникации. - 2006. - № 6. - С. 12—16.
9. Дубков А.А. Преобразование Лапласа: Учеб.-метод. пособие / А.А. Дубков, Н.В. Агудов. - Нижегородский гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, 2016.
10. Mark S. Nixon and Alberto S. Aguado. Feature Extraction and Image Processing. — Academic Press, 2008. — С. 88. 68.
11. E. Ryzhkova, O. Baklanova, A. Baklanov, and M. Pronina. Development and research of computer vision algorithms for visual control of geometric parameters of objects (defining the boundaries of the contour of the part) // Совместный выпуск научных журналов «Вестник» ВКГТУ им. Д. Серикбаева и «Вычислительные технологии» Института СО РАН, №3, т.1, Ч.2, 2018. С. 190-200.
12. Рыжкова Е.В. Разработка и исследование алгоритмов компьютерного зрения для визуального контроля геометрических параметров объектов (определения границ контура детали) / Е.В. Рыжкова, О.Е. Бакланова, А.Е. Бакланов // Вестник ВКГТУ. - 2018. - № 3. - Т. 2. - С. 149-153.
13. O.E. Baklanova, E.V.Ryzhkova, M.M.Iskakova Automatization of algorithms for visual quality control of coatings and contours on the products for medical purposes //Proceeding of International Conference on Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing 2018, Madrid, Spain. P.432-435.
14. E. Ryzhkova, O. Baklanova, A. Baklanov, and M. Pronina. Development and research of computer vision algorithms for visual control of geometric parameters of objects (defining the boundaries of the contour of the part) // Совместный выпуск научных журналов «Вестник» ВКГТУ им.Д.Серикбаева и «Вычислительные технологии» Института СО РАН. – 2018. -№ 3. - Т. 1. - Ч. 2. - С. 190-200.
15. M. Iskakova, E. Ryzhkova, and O. Baklanova. Mathematical model development for visual quality control of coatings sprayed on the products for medical purposes //Совместный выпуск научных журналов «Вестник» ВКГТУ им.Д.Серикбаева и «Вычислительные технологии» Института СО РАН. - 2018. - № 3. - Т. 1. - Ч. 2. - С. 83-91.

Получено 17.04.2019

МРНТИ 55.42.39

**А.М. Балғынова, А. Мерекекұзы**

Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова, г. Актобе

**МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА РОТОРНОЙ ЦЕНТРИФУГИ**

Приведен инженерный расчет параметров центрифуги в виде конкретного решения задачи практического расчета центрифуги по заданному выходу обезвоженной дробины при известной влажности поставляемой дробины и ширины фильтрующих отверстий. Определены основные параметры роторной центрифуги и по значениям параметров подобраны марка электродвигателя.

Центрифуганың параметрлерін инженерлік есептеген берілген бөлшектің белгілі ылғалдылығы мен сүзетін тесіктердің ені кезінде сусыздандырылған бөлшектің берілген шығысы бойынша центрифуганың практикалық есебінің есебін нақты шешу түрінде ұсынылған. Роторлы центрифуганың негізгі параметрлері анықталды және параметрлердің мәндеріне сәйкес электр қозғалтқыштың маркасы таңдалды.

An engineering calculation of the centrifuge options is presented in the form of a specific solution to the problem of practical centrifuge calculation for a given yield of dewatered grain at a known moisture content of the supplied grain and the width of the filter holes. The main options of the rotor centrifuge are determined and the brand of electric motor is selected according to the options values.

**Ключевые слова:** инженерный расчет, роторная центрифуга, экспериментальные исследования, обезвоженная дробина.

Методика инженерного расчета центрифуги разработана на основании полученных теоретических зависимостей с учетом результатов экспериментальных исследований, касающихся взаимной функциональной связи конструктивных параметров рабочих органов центрифуги с технологическими режимами ее работы.

Инженерный расчет параметров центрифуги методически представлен в виде конкретного решения задачи практического расчета центрифуги по заданному выходу обезвоженной дробины  $q_{T\phi}$  при известной влажности поставляемой дробины  $W_{II}$ . Разработанную методику инженерного расчета роторной центрифуги можно использовать в учебном процессе по разделу центрифуги.

Задание: Провести инженерный расчет роторной центрифуги для обезвоживания свежей пивной дробины, поставляемой с влажностью  $W_{II} = 0,89$  (89%), с получением выхода обезвоженного материала  $q_{T\phi} = 0,3$  т/ч.

Порядок расчета.

1. Определяем количество добавляемой влаги  $\Delta m_{HC}$  для изменения влажности поставляемой дробины до влажности  $W_{HCX} = 0,92$ .

На основании зависимости (1)

$$\Delta m_{HC} = M \frac{W_{HCX} - W_{II}}{1 - W_{HCX}} = \frac{0,92 - 0,89}{1 - 0,92} \cdot M = 0,38M, \quad (1)$$

где  $M$  - масса материала влажностью  $W_{II} = 0,89$ , подлежащего обезвоживанию в центрифуге.

2. Определяем исходную подачу материала в центрифугу.

На основании зависимости (2):

$$q_{HCX} = q_{\phi\phi} \frac{1 - W_{T\phi}}{1 - W_{HCX}} = 0,3 \frac{1 - 0,55}{1 - 0,92} = 1,7 \text{ т/ч}, \quad (2)$$

где  $W_{T\phi} = 0,55$  – предельная влажность дробины после обработки в центрифуге (рис. 1).

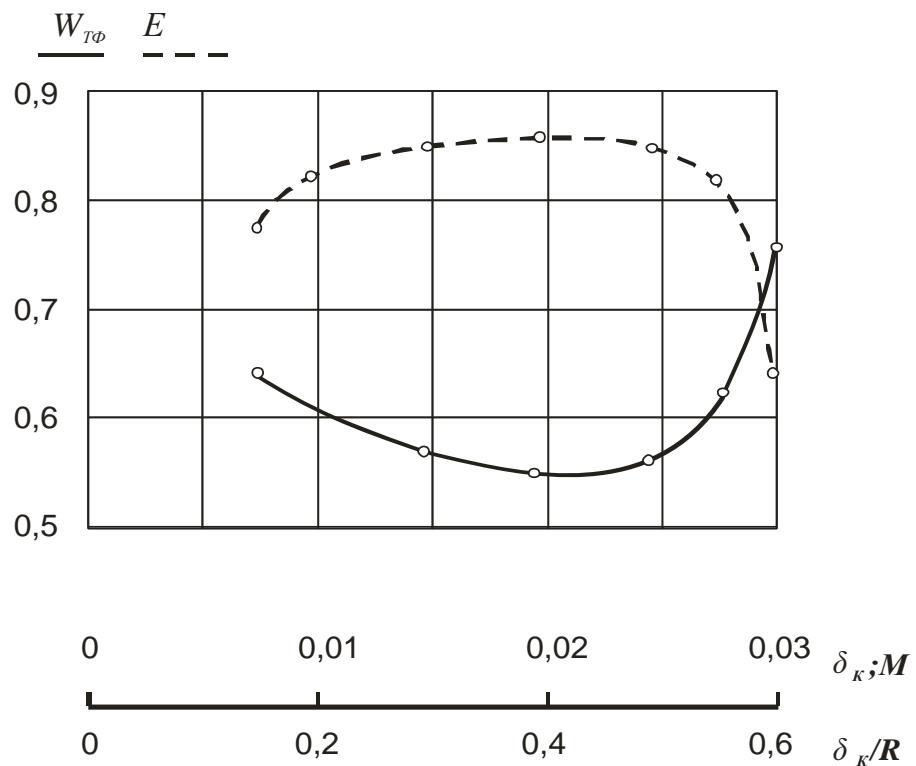


Рисунок 1 – Зависимость степени обезвоживания дробины  $W_{T\phi}$  от ширины  $\delta_k$  рабочей камеры центрифуги ( $b = 0,6$  мм;  $W_{HCX} = 0,9$ ;  $\delta_p = 3$  мм;  $l = 1,8 D$ ;  $l_{\Pi} = 0,02$  м;  $q_{HCX} = 0,23$  т/ч)

3. Для получения максимально обезвоженной дробины с увеличенной производительностью выбираем ширину фильтрующих щелевых отверстий  $b = 0,8$  мм (табл. 1, 2).

Таблица 1  
Гранулометрический состав твердой фракции дробины в процентном содержании от общей массы частиц ( $H = 0,9$  м;  $\delta_k/R = 0,2$ ;  $l = 1,5D$ )

Размер частиц, мм	Ширина щелевых отверстий цилиндра, мм							
	$b = 0$	$b = 0,2$	$b = 0,4$	$b = 0,5$	$b = 0,6$	$b = 0,8$	$b = 1,2$	$b = 1,6$
0,2...0,5	3,7	3,7	3,7	2,2	1,3	-	-	-
0,5...1,0	5,0	5,0	5,0	5,1	5,2	5,3	4,5	3,6
1,0...2,0	40,1	40,1	40,1	40,7	41,0	41,5	41,8	42,2
2,0...3,0	34,4	34,4	34,4	34,9	35,2	35,7	36,0	36,3
3,0...4,0	16,8	16,8	16,8	17,1	17,3	17,5	17,7	17,9
Исходная подача $q_{HCX}$ , т/ч	-	0,6	0,11	0,15	0,23	0,35	0,73	1,2

Таблица 2  
*Гранулометрический состав твердой фракции дробины в процентном содержании от общей массы частиц (H = 1,7 м; δ<sub>K</sub>/R = 0,4; l = 1,5D)*

Размер частиц, мм	Ширина щелевых отверстий цилиндра, мм							
	b = 0	b = 0,2	b = 0,4	b = 0,5	b = 0,6	b = 0,8	b = 1,2	b = 1,6
0,2...0,5	3,7	3,7	3,5	1,8	1,0	-	-	-
0,5...1,0	5,0	5,0	5,0	5,1	5,2	4,9	4,0	3,4
1,0...2,0	40,1	40,1	40,2	41,0	41,3	41,8	42,2	42,5
2,0...3,0	34,4	34,4	34,5	35,1	35,4	36,0	36,3	36,5
3,0...4,0	16,8	16,8	16,8	17,0	17,1	17,4	17,6	17,7
Исходная подача q <sub>HCX</sub> , т/ч	-	0,55	0,1	0,13	0,2	0,31	0,7	1,12

4. Принимаем соотношение длины рабочего участка камеры  $l$  и диаметра цилиндра  $D$  равным  $l/D=1,7$  ( $l/D=1,6...1,8$  на основании графиков рис. 2, 3), при этом  $\lambda = \frac{l}{R} = 3,4$ .

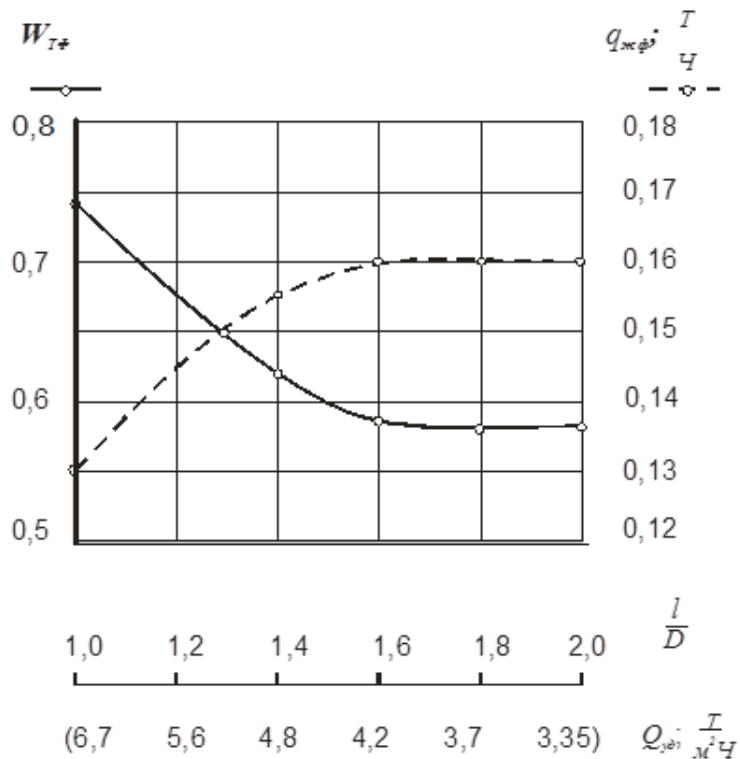
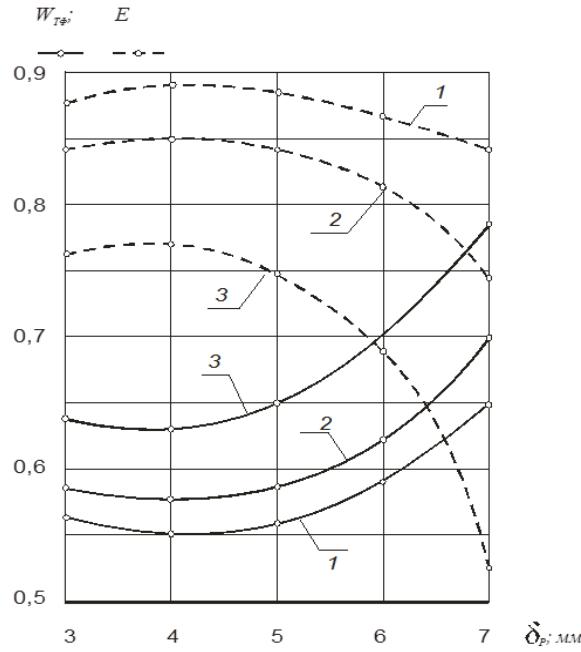


Рисунок 2 - Зависимость степени обезвоживания дробины  $W_{T\phi}$ ;  $q_{\phi\delta}$  от длины рабочего участка цилиндра ( $b = 0,6$  мм;  $\delta_p = 3$  мм;  $\delta_K = 0,02$  м;  $W_{HCX} = 0,9$ ;  $q_{HCX} = 0,21$  т/ч)



$$1. W_{HCX} = 0,92; 2. W_{HCX} = 0,9; 3. W_{HCX} = 0,88;$$

Рисунок 3 – Зависимость степени обезвоживания дробины от величины зазора  $\delta_p$  ( $b = 0,6$  мм;  $l = 2D$ ;  $\delta_K = 0,025$  м;  $q_{HCX} = 0,23$  т/ч)

5. Принимаем показатель кинематического режима работы центрифуги  $K$  равным

$$K = \frac{\omega^2 R}{g} = 120. \quad (3)$$

6. Определяем радиус  $R$  фильтрующего цилиндра при ширине колосниковых элементов цилиндра  $b_K = 0,004$  м (ГОСТ 9074), ширине фильтрующих отверстий  $b_K = 0,8$  мм, плотности жидкой фракции  $\rho_{ЖФ} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициенте расхода потока жидкого компонента  $\mu = 0,6$  [61], коэффициенте использования проходного сечения отверстий  $\kappa_{u\mu} = 0,25$  и оптимальном соотношении  $L = 1,7 \cdot 2R$ , где  $\lambda = 1,7 \cdot 2 = 3,4$ .

На основании зависимости (4):

$$R = \sqrt[3]{\left( \frac{W_{HCX} - W_{T\phi}}{1 - W_{HCX}} \right)^2} \sqrt[3]{\left( q_{T\phi} \frac{b + b_K}{\pi b^2 \cdot \rho_{ЖФ} \cdot \mu \cdot \kappa_{u\mu}} \right)^2} \cdot \frac{1}{\lambda^2 K g} = \\ \sqrt[3]{\left( \frac{0,92 - 0,55}{1 - 0,92} \right)^2} \cdot \sqrt[3]{\left( \frac{300}{3600} \cdot \frac{0,0048}{3,14 \cdot 0,0008^2 \cdot 1000 \cdot 0,6 \cdot 0,25} \right)^2} \cdot \frac{1}{3,4^2 \cdot 120 \cdot 9,8} = 0,14 \text{ м} \quad (4)$$

7. Определяем максимальную ширину  $\delta_K$  рабочей камеры центрифуги при плотности дробины влажностью  $W_{T\phi} = 0,55$ ,  $\rho_{T\phi} = 1080$  кг/м<sup>3</sup> и диаметре крупных частиц твердого компонента  $D_u \approx 0,004$  м (табл. 3, 4).

Таблица 3

Соответственные показатели плотности  $\rho_M$  и влажности  $W_M$  дробины

Плотность материала, $\rho_M$ ; кг/м <sup>3</sup>	1009,1	1025,1	1042,0	1053,2	1064,5	1075,8	1082,0
Влажность материала, $W_M$	0,95	0,92	0,9	0,8	0,7	0,6	0,55

Соответственные значения коэффициента трения  $f_M$  дробины по стальной поверхности и влажности дробины  $W_M$  сведены в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициент трения, $f_M$	0,17	0,18	0,19	0,21	0,33	0,42	0,62
Влажность материала, $W_M$	0,95	0,92	0,9	0,8	0,7	0,6	0,55

На основании зависимости (5):

$$\delta_K = R - \sqrt{R^2 - \left(1 + \frac{\rho_{T\phi}}{\rho_{K\phi}} \frac{W_{HCX} - W_{T\phi}}{1 - W_{HCX}}\right)(2R - D_u)D_u} = \\ = 0,14 - \sqrt{0,14^2 - \left(1 + \frac{1080}{1000} \cdot \frac{0,92 - 0,55}{1 - 0,92}\right) \cdot (0,28 - 0,004)0,004} = 0,03 \text{ м.} \quad (5)$$

8. Определяем длину рабочего участка фильтрующего цилиндра  $L$ :

$$L = \lambda \cdot R = 3,4 \cdot 0,14 = 0,48 \text{ м.} \quad (6)$$

9. Определяем длину подпорного участка цилиндра  $l_{II}$  при коэффициенте трения частиц обезвоженной дробины  $W_{T\phi} = 0,55$   $f_n \approx 0,6$  (табл. 4).

На основании зависимости (7):

$$l_{II} = \frac{\delta_K}{2f_n} = \frac{0,03}{2 \cdot 0,6} = 0,025 \text{ м.} \quad (7)$$

10. Определяем длину рабочей камеры  $L_K$  центрифуги, равной длине цилиндра  $L_u$ .

На основании зависимости (8):

$$L_K = L_u = L + l_{II} = 0,48 + 0,025 = 0,51 \text{ м.} \quad (8)$$

11. Определяем давление  $P_H$  в магистрали подачи исходного материала в центрифугу при исходной плотности материала  $\rho_{HCX} = 1020 \text{ кг/м}^3$  (табл. 3).

На основании зависимости (9):

$$P_H = \rho_{HCX} \cdot g \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{(W_{HCX} - W_{T\phi})\rho_{K\phi} + (1 - W_{HCX})\rho_{T\phi}}{\rho_{HCX}(1 - W_{T\phi})} \cdot K \cdot \delta_K \cdot \left[ 1 + \frac{R - \delta_K}{R} + \left( \frac{R - \delta_K}{R} \right)^2 \right] =$$

$$= 1020 \cdot 9,8 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{(0,92 - 0,55)1000 + (1 - 0,92)1080}{1020(1 - 0,55)} \cdot 120 \cdot 0,03 \left[ 1 + \frac{0,14 - 0,03}{0,14} + \left( \frac{0,14 - 0,03}{0,14} \right)^2 \right] = 0,3$$

кг/см<sup>2</sup>=0,03МПа.

(9)

12. Определяем мощность  $N_{\omega}$ , потребляемую приводом ротора на вращение материала в камере центрифуги на рабочем участке  $L$ .

На основании зависимости (10):

$$N_{\omega} = q_{HCX} \cdot \frac{K \cdot g \cdot R}{2} = \frac{1700}{3600} \cdot \frac{120 \cdot 9,8 \cdot 0,14}{2} = 0,04 \text{ кВт}. \quad (10)$$

13. Определяем мощность  $N_p$ , потребляемую приводом ротора на преодоление реактивного момента выбрасываемой жидкой фракции.

На основании зависимости (11):

$$N_p = q_{HCX} \frac{W_{HCX} - W_{T\phi}}{1 - W_{T\phi}} \cdot KgR = \frac{1700}{3600} \cdot \frac{0,92 - 0,55}{1 - 0,55} \cdot 120 \cdot 9,8 \cdot 0,14 = 0,06 \text{ кВт}. \quad (11)$$

14. Определяем момент трения  $M_L$  материала на рабочем участке цилиндра  $L = 0,48\text{м}$  при коэффициенте трения материала в жидкостном слое  $f_L = 0,01$ .

На основании зависимости (12):

$$M_L = \frac{b_K}{b + b_K} 2\pi RL \cdot g \cdot \rho_{HCX} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{\rho_M}{\rho_{HCX}} \cdot K \cdot \delta_K \left[ 1 + \frac{R - \delta_K}{R} + \left( \frac{R - \delta_K}{R} \right)^2 \right] \cdot f_L \cdot R =$$

$$= \frac{b_K}{b + b_K} 2\pi R^2 L \cdot \rho_M \cdot g \cdot H \cdot f_L \cdot R = 1,3 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (12)$$

15. Определяем момент трения  $M_{\Pi}$  материала на подпорном участке цилиндра.

На основании (13):

$$M_{\Pi} = H \cdot \rho_{HCX} \cdot g \cdot \pi (R - \delta_K)^2 \cdot \delta_K = 2,6 \cdot 1020 \cdot 9,8 \cdot 3,14 (0,14 - 0,03)^2 \cdot 0,03 = 30 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (13)$$

16. Определяем суммарный момент трения  $M_f$ :

$$M_f = M_L + M_{\Pi} = 1,3 + 30 = 31,3 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (14)$$

17. Определяем мощность  $N_f$ , потребляемую приводом на преодоление момента трения  $M_f$ .

На основании зависимости (15):

$$N_f = M_f \sqrt{\frac{Kg}{R}} = 30 \sqrt{\frac{120 \cdot 9,8}{0,14}} = 2,7 \text{ кВт}. \quad (15)$$

18. Определяем суммарную мощность  $N_{\Sigma}$ , потребляемую приводом ротора центрифуги:

$$N_{\Sigma} = N_{\omega} + N_p + N_f = 0,04 + 0,06 + 2,7 = 2,8 \text{ кВт}. \quad (16)$$

19. По значениям параметров  $P_H = 0,03$  МПа и  $q_{HCX} = 1,7 \text{ т/ч}$  подбираем насос для подачи исходной дробины в центрифугу – насос 1СМ32 – 20 – 125.

20. По заданному значению показателя  $K = \frac{\omega^2 \cdot R}{g} = 120$  определяем частоту вращения ротора:

$$n = \frac{\omega \cdot 60}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{Kg}{R}} \cdot 60}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{120 \cdot 9,8}{0,14}} \cdot 60}{2 \cdot 3,14} = 900 \text{ об/мин.} \quad (17)$$

21. По значениям параметров  $N_{\Sigma} = 2,8 \text{ кВт}$  и  $n = 900 \text{ об/мин}$  подбираем электродвигатель мощностью 3 кВт и  $n = 1000 \text{ об/мин}$  марки 4A112MA.

#### Список литературы

1. Нормы технологического проектирования систем удаления и подготовки к использованию навоза. НТП17– 99. - М., 1999. – 29 с.
1. Чугаев Р.В. Гидравлика. – Ленинград: Энергоиздат, 1982. – 47 с.
2. Стяжкин В.И. Обоснование конструктивных и технологических параметров роторной центрифуги для обезвоживания кормовой пивной дробины / В.И. Стяжкин, А.М. Балгынова // Научно – технический прогресс в животноводстве: перспективная система машин – основа реализации стратегии машинно – технологического обеспечения животноводства на период до 2010 г. (Подольск, 2004) // Тр. междунар. науч. конф. – Т. 13. – Ч. 3. - С. 122-127 .
3. Стяжкин В.И. Экспериментальное исследование роторной центрифуги для обезвоживания пивной дробины // Научно – технический прогресс в животноводстве – перспективные ресурсосберегающие машинные технологии (Подольск, 2004) / В.И. Стяжкин, А.М. Балгынова // Тр. междунар. науч. конф. – Т. 15. – Ч. 3. - С. 123-127.

Получено 17.04.2019

МФТАА 65.43.31

#### А.М. Балгынова

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті, Ақтөбе қ.

#### АЗЫҚТЫҚ СЫРА БӨРТПЕСІН СУСЫЗДАНДЫРУ ҮШІН РОТОРЛЫҚ ЦЕНТРИФУГАНЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТИМДІЛІК КӨРСЕТКІШТЕРІН ЕСЕПТЕУ

Ғылыми зерттеулер нәтижесінде қоректік азық қоспасын алу үшін сыра бөртпесін сусыздандыратын экспериментальды роторлы центрифуга дайындалды. Бұл мақалада центрифуганы сынау нәтижелері пайдаланылып, оның тағайындау көрсеткіштерінің нақты мәндері нақтыланып. Салыстыру үшін негізгі модель ретінде сүзгілі роторлы центрифуга қабылданып, азықтық сыра бөртпесін сусыздандыру үшін экспериментальды роторлық центрифуганың экономикалық тиімділігінің салыстырмалы көрсеткіштері, соның ішінде өнім бірлігінде қызмет көрсететін қызметшінің өндегіне ақы төлеуге, электр энергиясына, техникалық қызмет көрсетуге, ағымдағы және күрделі жөндеуге, қайта жаңартуға арналған шығындар және жаңа машинаны пайдаланудың жылдық экономикалық тиімділігі, өндірістік процесті орындау кезіндегі жұмыс бірлігіне арналған өнбек шығындары, жаңа машинаны пайдалану кезіндегі өнбекті жылдық үнемдеу анықталды.

По результатам научных исследований разработана и изготовлена экспериментальная роторная центрифуга для обезвоживания пивной дробины. В данной статье использованы результаты испытаний центрифуги, уточнены фактические значения его показателей. Для сравнения в качестве основной модели принимается фильтрующая роторная центрифуга, определены показатели сравнительной экономической эффективности экспериментальной роторной центрифуги для обезвоживания кормовой пивной дробины, в т.ч. затраты на оплату труда обслуживающего

персонала на единицу продукции, на электроэнергию, на техническое обслуживание и текущий ремонт на реновацию машины, годовой экономический эффект от эксплуатации новой машины, затраты труда на единицу наработки при выполнении производственного процесса, годовая экономия труда при эксплуатации новой машины.

According to the results of scientific research, an experimental rotary centrifuge for dewatering fodder beer pellet has been developed and manufactured. This article uses the results of centrifuge tests, clarifies the actual values of its indicators. For comparison, the filtering rotary centrifuge is taken as the main model, and the indicators of the comparative economic efficiency of the experimental rotary centrifuge for dewatering feed beer pellets are determined, including the costs for the maintenance personnel per unit of production, for electricity, for maintenance and current repairs, on the renovation of the machine, and the annual economic effect of the operation of the new machine, the cost of labor per unit of time during the production process, annual labor savings in the operation of the new machine.

**Түйін сөздер:** роторлы центрифуга, азықтық сыра бөртпесі, сусыздандыру, техникалық қызмет көрсету, ағымдағы және күрделі жөндеу, жылдық экономикалық тиімділік.

Ірі қара малды азықтандыру рационына коректік азық қоспасын алу мақсатында азықтық сыра бөртпесін сусыздандыру үшін роторлы центрифуга өндірістік сынақтардан өтті. Пайдалану барысында роторлы центрифуга жоғары сенімділік көрсетті, ал одан алынған ылғалдылығы 59-60 % сусыздандырылған азықтық бөртпе сапасы бойынша зоотехникалық талаптарға сәйкес келді. Азықтық сыра бөртпесін сусыздандыру бойынша эксперименттік роторлы центрифуганы енгізу бастапқы материалдың ылғалдылығын 30-30,5%-га төмендетуге мүмкіндік береді, осының арқасында алынатын азықтық сыра бөртпесінің коректілігін арттыру қамтамасыз етіледі.

Салыстырмалы экономикалық тиімділік көрсеткіштерін есептеу белгілі әдістемелер мен нормативтік-анықтамалық материалдарды қолдану арқылы орындалған [1, 2].

Есептеу кезінде центрифуганы сынау нәтижелері пайдаланылды, ол кезде оның тағайындау көрсеткіштерінің нақты мәндері нақтыланды.

Салыстыру үшін негізгі модель ретінде сүзгілі роторлы центрифуга қабылданды. Барлық бастапқы деректер 1-кестеде көлтірілген.

Жаңа машинаны пайдаланудың жылдық экономикалық тиімділігі мынадай формула бойынша анықталады

$$\mathcal{E}_{жылд} = B^3 \cdot (\Pi_{\bar{B}} - \Pi_{\bar{ж}} + \mathcal{E}) \quad (1)$$

мұндағы  $\Pi_{\bar{B}}$ ,  $\Pi_{\bar{ж}}$  – базалық және жаңа машиналар бойынша істелген жұмыс бірлігіне көлтірілген шығындар, теңге/дана;  $\mathcal{E}$  – бір жұмыс бірлігіне сәйкес алынатын өнім сапасының өзгеруінен экономикалық тиімділік, теңге/дана;  $B_3$  – осы табиғи-климаттық аймақ жағдайында жаңа машинаның жылдық жұмысы, дана.

Істелген жұмыс бірлігіне көлтірілген шығындар

$$I = I + K \cdot E \quad (2)$$

мұндағы:  $I$  жұмыс бірлігіне жұмсалатын тікелей пайдалану шығындары, теңге/дана;  $K$  – жұмыс бірлігіне жұмсалатын күрделі салымдар, теңге/дана;  $E$  – күрделі салымдар тиімділігінің нормативтік коэффициенті.

Өнім бірлігіне келетін тікелей пайдалану шығындары мынадай формула бойынша айқындалады:

$$I = 3 + \Gamma + P + A \quad (3)$$

мұндағы:  $3$  – қызмет көрсететін қызметшілердің еңбекіне ақы төлеу шығындары, теңге/дана;  $\Gamma$  – электр энергиясына арналған шығындар;  $P$  – техникалық қызмет көрсетуге, ағымдағы және күрделі жөндеуге арналған шығындар;  $A$  – қайта жаңартуға арналған шығындар.

1-кесте

Экономикалық тиімділік көрсеткіштерін есептеуге қажетті бастапқы деректер

Көрсеткіштер	Белгіленуі	Өлшем бірлігі	Нұсқалары	
			базалы	эксперименттік
Өнімділігі: - бір жыл ішіндегі - ауысым уақытының 1 сағаты үшін	$W_{ж} W_{ауыс}$	т/жыл т/сағ	345 0,118	365 0,125
Белгіленген қуат	$N_{белг.}$	кВт	5,0	5,0
Тұтынылатын қуат	$N_{тұт}$	кВт	4,0	4,0
Қызмет көрсететін адамдар саны	Л	адам	2	2
Өнім бірлігінің тауарлық құны	Ц <sub>т.к</sub>	тенге/т	5000	4811
Сузыздындырылған бөртпе көлемі	Л <sub>с.б</sub>	т/жыл	365	365
Сузыздындырылған бөртпе бағасы	Ц <sub>с.б</sub>	тенге	1913	1825
Баланстық баға (курделі салымдар)	Б	тенге	389000	300000
Орташа жылдық жұмыс	В <sub>3</sub>	тенге	345	365
Тұтынылатын электроЕнергия	Э <sub>3</sub>	кВт · сағ	11680	11680
1кВт·сағ лектроенергияның бағасы	Ц	тенге	6,89	6,89
Бір жылдағы жұмыс сағаттарының саны	Ч <sub>сағ</sub>	сағ	2920	2920
Бір жылдағы еңбекақы	З <sub>енб.акы</sub>	тенге	396000	396000
Орташа айлық жалакы	З <sub>орт</sub>	тенге	16500	16500
Аударымдардың жылдық нормасы: - реновацияға - ағымдағы жөндеуге және ТҚ	A r <sub>т</sub>	%	10 12	10 12

Өнім бірлігіне қызмет көрсететін қызметшінің еңбегіне ақы төлеуге арналған шығындар

$$3 = \frac{L \cdot \tau}{W_{ауыс}} \quad (4)$$

мұндағы  $W_{ауыс}$  - ауысым уақытының 1 сағаты үшін машинаның өнімділігі, дана/сағ;  $L$  - өндірістік қызметшілер саны, адам;  $\tau$  - қосымша және жоғары төлемнің барлық түрлерін ескере отырып, қызмет көрсететін қызметшінің еңбегіне ақы төлеудің сағаттық тарифтік ставкасы, теңге/адам.-сағ.

Электр энергиясына арналған шығындар

$$\Gamma = q \cdot Ц \quad (5)$$

мұндағы  $q$  - электр энергиясының салыстырмалы шығыны, кВт·сағ/дана;  $Ц$  - 1кВт·сағ электрэнергиясының бағасы, теңге/кВт·сағ.

Техникалық қызмет көрсету және ағымдағы жөндеу шығындары машинаның баланстық құнынан аударымдар нормативтері бойынша анықталған

$$P = \frac{Б \cdot r_T}{W_{Пайд} \cdot T_{жыл}} \quad (6)$$

мұндағы  $Б$  - машинаның баланстық құны, теңге;  $W_{Пайд}$  - 1 сағат пайдалану уақыты үшін машина өнімділігі; 365;  $r_T$  - ағымдағы жөндеу және техникалық қызмет көрсетуге аударымдар коэффициенті;  $T_{жыл}$  - нормативтік жылдық жүктеме, сағ.

Машинаны қайта жаңартуға арналған шығындар

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{ПАЙД} \cdot T_{АЙМ}} \quad (7)$$

мұндағы  $a$  - машинаны жаңартуға арналған аударымдар коэффициенті;  $T_{АЙМ}$  - аймақтық жылдық жүктеме, сағ.

Жұмыс бірлігіне сәйкес машина бойынша құрделі салымдар тенгемен

$$K = \frac{B}{W_{ПАЙД} \cdot T_{АЙМ}}. \quad (8)$$

Өндірістік процесті орындау кезіндегі жұмыс бірлігіне арналған еңбек шығындары

$$Z_{ЕНБ} = \frac{П}{W_{АУЫС}}. \quad (9)$$

Жаңа машинаны пайдалану кезіндегі еңбекті жылдық үнемдеу

$$Z_{ЖЫЛ} = (Z_{ЕНБ.Б} - Z_{ЕНБ.Ж}) \cdot B_3 \quad (10)$$

мұндағы  $Z_{ЕНБ.Б}$ ,  $Z_{ЕНБ.Ж}$  - базалық, жаңа машинаның жұмыс істеу бірлігіне арналған еңбек шығындары, адам.-сағ/дана

Азықтық сыра бөртпесін сусыздандыру үшін эксперименталды роторлық центрифуганың экономикалық тиімділігінің салыстырмалы көрсеткіштерін есептеу нәтижелері 2-кестеде көрсетілген.

2-кесте

*Азықтық сыра бөртпесін сусыздандыру үшін эксперименталды роторлық центрифуганың экономикалық тиімділігінің салыстырмалы көрсеткіштері*

Көрсеткіштер	Белгіленуі	Салыстырмалы машиналар	
		базалы	жаңа
Қызмет көрсететін қызметшілердің еңбегіне ақы төлеу шығындары, теңге/т	3	396000	396000
Электр энергиясына арналған шығындар, теңге	Г	80475,2	80475,2
Техникалық қызмет көрсету және ағымдағы жөндеу шығындары, теңге	Р	9751,6	8942,5
Машинаны қайта жаңартуға арналған шығындар, теңге	А	8126,3	7452
Тікелей пайдалану шығындары, теңге	И	494353,1	492869,7
Курделі салымдар, теңге	К	389000	300000
Келтірілген шығындар, теңге	П	541033,1	528869,7
Өтеу мерзімі, жыл	С <sub>о</sub>	1,7	1,03
Жылдық экономикалық тиімділік, теңге	Эжыл	229	293
Еңбек шығындары, адам·сағ/т	Зенб	0,945	1,0
Жылдық еңбек үнемдеу, адам·сағ	Зжыл	756	548

Осылайша, шаруашылықта сусыздандырылған сыра бөртпесін пайдаланудан түсетін жылдық пайда өндіріс участкесінің өтеу мерзімі 1,03 жыл болған кезде 293 мың теңгені (диссертация мәліметі бойынша) құрайды.

## Әдебиеттер тізімі

1. ГОСТ 23728-88 – 23730-88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам: - М.: Издательство стандартов, 1988. – С.14-22.
2. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.: 1978. – 31 с.

Қабылданды 17.04.2019

---

---

УДК 621.7.01  
МРНТИ 55.13.01

**Т.А. Балтаев, Д.К. Кушалиев**

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, г. Уральск

**Б.А. Ерманова**

Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем,  
г. Уральск

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА В РЕЗУЛЬТАТЕ  
ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ**

*В работе представлен сравнительный анализ изменения свойств и структуры материала образцов (упругих чувствительных элементов типа круглых пластин), обработанных термомеханической обработкой, технологией, применяемой ООО ЭПО «СИГНАЛ» г. Саратова, и образцов, обработанных методом ультразвукового механического воздействия.*

*Жұмыста Саратов қ. «СИГНАЛ» ЭПО ЖШҚ қолданатын термомеханикалық өңдеумен, технологиямен өңделген үлгілер материалының (дөңгелек пластиналар түріндегі сөрпімді сезімтал элементер) қасиеттері мен құрылымының өзгеруінің және ультрадыбыстық механикалық әсер ету әдісімен өңделген үлгілердің салыстырмалы талдауы ұсынылған.*

*The paper presents a comparative analysis of changes in the properties and structure of the material of the samples (elastic sensitive elements such as round plates), processed by thermo mechanical processing - the technology used by EPO SIGNAL LLC.*

**Ключевые слова:** пластическое течение, пластическая деформация, циклическое деформирование, ультразвуковая стабилизация, энергия ультразвука, внутренние напряжения, потенциальная энергия насыщения материала, гистерезис.

С целью исследования возможного негативного влияния воздействия ультразвуковых механических колебаний в процессе стабилизации деформации круглых пластин на предмет образования различного рода микротрещин, вследствие которых, как правило, произойдет резкое сокращения ресурса изделия в целом, был произведен сравнительный анализ изменения свойств и структуры материала. Для сравнительного анализа были подготовлены образцы, обработанные стандартной технологией, применяемой ООО ЭПО «Сигнал» г. Саратова, и образцы, обработанные предлагаемой технологией, основанной на способе ультразвукового механического воздействия.

На базе «Лаборатории диагностики наноматериалов и структур» СГУ им. Н.Г. Чернышевского, совместно с к.ф.-м.н. А.М. Захаревичем, с помощью электронного микроскопа FEG SEM (рис. 1) были получены микрофотографии исследуемых образцов.

Сканирующий электронный микроскоп FEG SEM с катодом с полевой эмиссией с переменным вакуумом в камере образцов. Характеризуется непревзойденными оптическими свойствами, немерцающим цифровым изображением превосходного качества.

Сканирующие электронные микроскопы выпускаются с камерами образцов нескольких размеров, маркированных как LM, XM и GM. Каждая из этих камер оснащена полностью моторизованным 5-осевым компуцентрическим столиком образцов, который обеспечивает возможность необходимых манипуляций с образцами и удобен в управлении. Геометрия столиков и камер идеальна для использования аналитических методик, таких как EDX, WDX или EBSD. Столики образцов в сверхбольших камерах (XM, GM) позволяют размещать тяжелые образцы с сохранением точности позиционирования.



Рисунок 1 - Электронный микроскоп FEG SEM

В табл. 1 приведено аналитическое сравнение микрофотографий поверхности круглой пластины, полученных с различной градацией степени увеличения снимка.

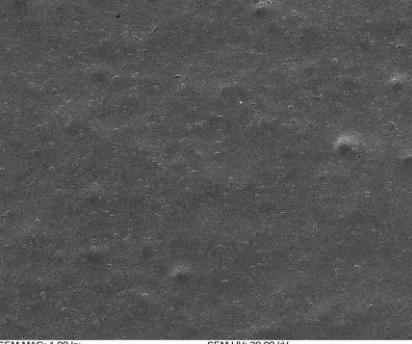
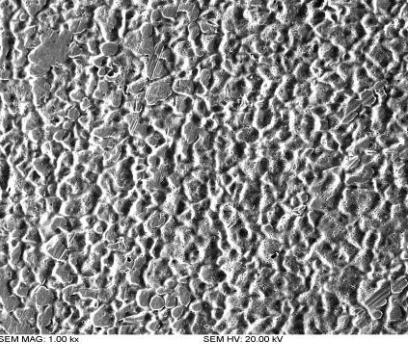
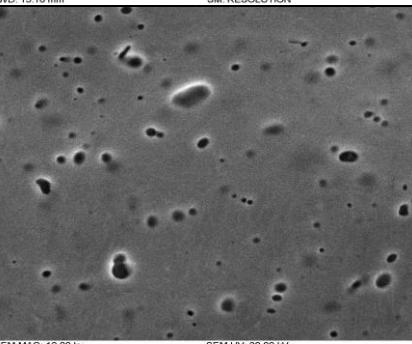
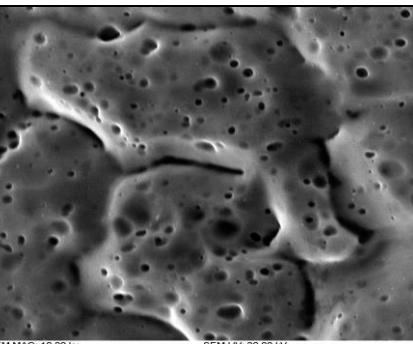
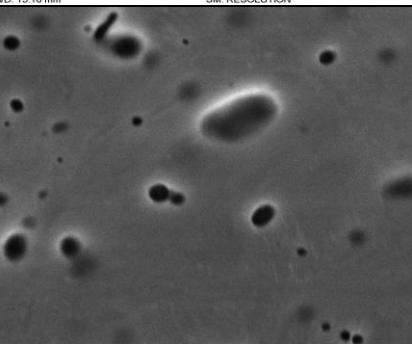
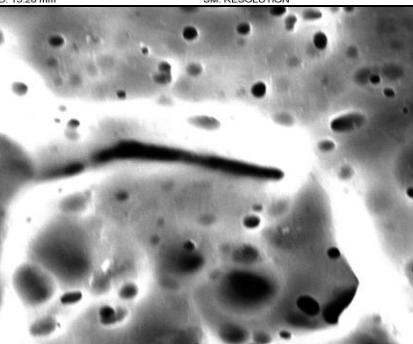
Исходя из анализа, следует сделать вывод, что кристалл осуществляет пластическое течение, перестраиваясь эстафетно между двумя смежными структурами. При этом считается, что пластическая деформация – это совокупность последовательно протекающих элементарных релаксационных актов, в ходе которых в области концентраторов напряжений зарождаются сдвиги. Следствием этого является локальное снижение напряжений. Возникновение прерывистости течения на кривых монотонной деформации объясняется переходом материала в автоколебательный режим [1, 2]. В отдельных кристаллитах в результате работы концентраторов напряжений возникают сдвиги по плоскостям скольжения. К концу стадии микропластичности их поведение становится взаимно коррелированным, так что один сдвиг вызывает появление следующего.

В структуре материала обоих образцов, обработанных разными методами, присутствуют определенные расслоения типа микротрецчин, вызванные пластическим воздействием, но у материала образца, обработанного стандартным методом, структура более грубая, концентрация микротрецчин в материале образца, обработанного методом ультразвукового воздействия, не превышает концентрацию микротрецчин материала образца,

обработанного стандартным способом. В силу вышесказанного изменение структуры материала круглой пластины после ультразвуковой обработки может не оказывать отрицательного влияния и не отражаться на долговечности изделия в процессе эксплуатации.

Эти процессы, происходящие на данной стадии под влиянием циклического деформирования, свидетельствует о неравномерном развитии пластической деформации и следовательно, о неравномерном распределении дефектов кристаллической решетки.

Таблица 1  
*Микрофотографии поверхности круглой пластины*

Образец, обработанный способом ультразвукового механического воздействия	Образец, обработанный способом термомеханического воздействия жидкости или газа
	
	
	

В табл. 2 приведено аналитическое сравнение микрофотографий торцевого разреза круглой пластины, полученных с различной градацией степени увеличения снимка.

Таблица 2

## Микрофотографии торцевого разреза круглой пластины

Образец, обработанный способом ультразвукового механического воздействия	Образец, обработанный способом термомеханического воздействия жидкости или газа

Выявленные выше особенности поведения материала на различных стадиях циклического деформирования позволяют более точно определить область протекания процесса уменьшения остаточных напряжений.

Очевидно, что при правильном выборе режима ультразвукового воздействия в процессе обработки можно достичь более равномерного снижения напряжения, повысить качество и эффективность процесса. При этом замечено, что ультразвуковая обработка повышает механические характеристики материала, такие как предел прочности и пропорциональности.

## Список литературы

- Панин В.Е. Деформация и разрушение поликристаллов при знакопеременном нагружении как диссипативный процесс / В.Е. Панин, Т.Ф. Елсукова // Синергетика и усталостное разрушение металлов: сб. науч. тр. – М.: Наука, 1989. – С. 113–137.
- Панин В.Е. Структурные уровни деформации твердых тел / В.Е. Панин, В.А. Лихачев, Ю.В. Гриняев. – Новосибирск, 1985. – 226 с.
- Балтаев Т.А. Релаксация остаточных напряжений и стабилизация геометрических параметров кольцевых деталей / Т.А. Балтаев, А.В. Королев, А.А. Королев и др. // Известия ТулГУ. Технические науки. - 2015. - Вып. 6. - Ч. 1. - С. 214-219.
- Балтаев Т.А. Технология стабилизации остаточных напряжений в упругих чувствительных элементах приборов давления на основе применения ультразвуковой энергии / Т.А. Балтаев, А.В. Королев, А.А. Королев и др. // Сборка в машиностроении, приборостроении. – Изд-во «Инновационное машиностроение». - 2015. - № 12. - С. 39- 41.
- Балтаев Т.А. Математическая модель ультразвукового поверхностного упрочнения / Т.А. Балтаев, А.С. Носков, А.В. Королев // Науч.-практ. журнал западно-казахстанского аграрно-технического ун-та им. Жангира хана «Наука и образование». - 2012. - № 4(29).

6. Baltayev T., Korolev A., Balaev A., Savran S., Yakovishin A. Comparative analysis of ultrasonic and thermal methods of residual tension relaxation. Science, Technologies in Modern World: Materials of 2nd International Scientifically-Practical Conference, Ufa, 2015, p. 47-50, (in Russian).
7. Baltayev T., Korolev A., Korolev A., Balayev A., Savran S. Stabilization technology residual stresses in the elastic sensitive elements of pressure devices through the application of ultrasonic energy. Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making, Vol. 12, 2015, p. 39-41.

Получено 17.04.2019

УДК 621.7.01  
МРНТИ 55.13.01

**Т.А. Балтаев, Д.К. Кушалиев**

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангира хана, г. Уральск

**Б.А. Ермanova**

Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем,  
г. Уральск

**УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД СТАБИЛИЗАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ  
ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ**

*В работе представлен анализ современных способов и технических средств, применяемых при ультразвуковой стабилизации накопленной деформации в деталях типа круглых пластин. Рассмотрены работы отечественных и зарубежных ученых, посвященные изучению вопроса релаксации остаточных напряжений в деталях машиностроительного производства, основанной на энергии ультразвука.*

*Жұмыста дәңгелек пластиналар түріндегі бөлшектерде жинақталған деформацияны ультрадыбыстық тұрақтандырудың заманауи әдістер мен техникалық құралдардың талдауы ұсынылған. Отандық және шетелдік ғалымдардың ультрадыбыс энергиясына негізделген машина жасау өндірісінің бөлшектеріндегі қалдық кернеулерді релаксациялау мәселесін зерттеуге арналған жұмыстары қарастырылды.*

*The paper presents an analysis of modern methods and technical means used in the ultrasonic stabilization of the accumulated deformation in parts such as round plates. The works of domestic and foreign scientists devoted to the study of the relaxation of residual stresses in the details of engineering production based on ultrasound energy are considered.*

**Ключевые слова:** деформация, внутренние напряжения, потенциальная энергия насыщения материала, гистерезис, упругий чувствительный элемент, мембрана.

В основе описания механизма ультразвуковой стабилизации механических и геометрических параметров изделий лежит предположение о том, что пластическое течение имеет волновой характер. Для стабилизации напряженного состояния изделию сообщается некоторый энергетический импульс. Возникающие при этом дополнительные напряжения суммируются с начальными остаточными, в результате чего в поликристаллическом материале происходят сдвиги кристаллической решетки. Деформируемый кристалл осуществляет пластическое течение, перестраиваясь последовательно между двумя смежными структурами, что приводит к локальному снижению напряжений. В результате развития множественного сдвига формируется волна пластической деформации. Условием, при котором происходит пластический сдвиг, является накопление кинетической энергии, необходимой для преодоления потенциального барьера.

Выводы по ряду исследований [1-3], посвященные изучению ультразвуковой обработки, позволяют заключить, что процесс релаксации остаточных напряжений может быть управляем изменением частоты, амплитуды и времени циклической нагрузки. Ультразву-

ковая стабилизация является более производительным процессом релаксации в сравнении с другими методами, приводит к увеличению усталостной прочности и сроку службы изделия. В настоящее время отсутствует строгая теоретическая база, описывающая параметрическую зависимость процесса релаксации остаточных напряжений от условий ультразвукового воздействия.

Импульсные и циклические напряжения, создаваемые ультразвуковой обработкой обуславливают снижение уровня остаточных напряжений до 50%, а иногда и выше, что повышает предел усталости металла в 2-3 раза. Исследования коррозионных свойств металлов и сплавов показали, что после ультразвуковой обработки сопротивляемость коррозии возрастает в несколько раз.

Теория, описывающая механизм ультразвуковой стабилизации деформации, основана на предположении, что пластическое течение имеет волновой характер. В локальных зонах остаточные напряжения образуются в кристаллических телах как результат пластической деформации кристаллов [4-6].

Для стабилизации напряженного состояния детали сообщается некоторый энергетический импульс, например энергия колебаний ультразвука.

Возникающие при этом дополнительные напряжения суммируются с начальными остаточными, в результате чего в поликристаллическом материале происходят сдвиги кристаллической решетки. Данный процесс сопровождается перераспределением напряжений, а молекулы приходят в равновесное положение. Напряжения в пределах зерен и по их границам уменьшаются [7].

Первым предположение о волновом характере пластического течения было высказано академиком Иоффе в серии работ, опубликованных в сборнике избранных трудов [8], где он показал, что текучесть состоит из ряда малых элементарных пластических сдвигов либо между отдельными кристаллическими зернами, либо внутри одиночных кристаллов. Причем любые два последовательных сдвига отделены друг от друга промежутками времени, длительность которых строго постоянна в данных условиях.

Было отмечено, что пластическое течение состоит из скольжения и вращения зерен друг относительно друга. На основании полученных результатов был сделан вывод о том, что пластическая деформация развивается скачками. Их частота увеличивается с ростом приложенной нагрузки.

Экспериментальные исследования [9], проведенные М.Г. Бабенко под руководством А.В. Королёва, по изменению остаточных внутренних напряжений колец подшипников 207.01 под действием ультразвуковой обработки подтвердили преимущество данного метода над традиционным термическим отпуском. В результате этих экспериментов установлено, что за первые 10 секунд ультразвуковой стабилизации внутренних напряжений величина деформации колец снижается более чем 2,4 раза при остаточных напряжениях, равных 0,014 Мпа, и около 2 раз при остаточных напряжениях, равных 0,005 МПа. В целом установлено, что ультразвуковая обработка позволяет за 5-15 секунд добиваться значительного снижения величины остаточных напряжений и деформации колец.

После ультразвуковой обработке не происходит изменения наружного диаметра, а после дополнительного отпуска этот параметр увеличивается в среднем на 1-2 мкм. По сравнению с дополнительным отпуском после ультразвуковой обработки отклонение от геометрической формы уменьшается в 1,8 раза. Ультразвуковая обработка повышает твердость материала кольца в среднем на 0,18-0,19 единиц HRC по сравнению с дополнительным отпуском и контрольной группой соответственно. Ультразвуковая обработка обеспечивает более эффективное снятие напряжений (в среднем в 1,41 раза) по сравнению с дополнительным отпуском.

В результате анализа влияния режимов ультразвуковой обработки на точностные параметры колец и их механические характеристики установлено, что с возрастанием амплитуды колебаний остаточная деформация увеличивается, так как при этом активизируется снятие внутренних напряжений. С увеличением времени обработки остаточная деформация сначала активно возрастает, а затем стабилизируется, так как дальнейшее увеличение времени не вызывает снятие внутренних напряжений.

Таким образом, при ультразвуковой обработки происходят очень сложные внутренние процессы, носящие противоречивый характер. С одной стороны, снимаются внутренние напряжения, оставшиеся после предшествующей механической обработки, с другой стороны, в процессе ультразвуковой обработки при определенных условиях проявляется наследственность формы, которую они приобретают под действием рабочей нагрузки.

Кроме того, в работе М.Г. Бабенко впервые была предложена математическая модель процесса ультразвуковой стабилизации внутренних напряжений в кольцах подшипников, отражающая связь между уровнем остаточных напряжений и основными показателями точности при различных схемах деформации кольца. Уточнение этой математической модели процесса релаксации и стабилизации геометрических параметров колец в части влияния на результаты обработки геометрических параметров деталей было выполнено в работе Слесарева С.В. [10], где также был предложенная новая схема ультразвуковой релаксации остаточных напряжений, получившая экспериментальное подтверждение эффективности.

Выполненные исследования показали высокую эффективность ультразвуковой релаксации остаточных напряжений, в значительной степени раскрыли механизм этого сложного процесса, установили ряд важных закономерностей, отражающих влияние условий обработки на ее результаты. В технической литературе подобные результаты исследований отсутствуют. Но они также выявили недостатки этого процесса, наиболее существенными являются: невысокая стабильность процесса ультразвуковой релаксации из-за частых сбоев в ультразвуковом генераторе, необходимость тщательного контроля величины остаточных напряжений в деталях, дороговизна приборов для контроля остаточных напряжений, сложность управления процессом в производственных условиях.

Поэтому дальнейшие исследования пошли по пути поиска более совершенных способов стабилизации остаточных напряжений, основанных на ультразвуковом воздействии, лишенных указанных недостатков. По результатам этих поисков было опубликовано более 30 печатных работ, наиболее свежие результаты исследований представлены в следующих работах [11-14, 15, 10, 16-19, 20, 21]. Часть результатов [12-14] докладывалась на международных конференциях. Проводимые исследования привели к созданию новых стабильных способов релаксации остаточных напряжений, подтвержденных патентами [22-24].

В патенте [21] стабильность процесса релаксации обеспечивается за счет обработки детали в несколько переходов различным инструментом. В этом случае нестабильная работа одного из инструментов незначительно отразится на качестве обработки в совокупности всеми инструментами. А так как эти переходы выполняются параллельно, то при этом многократно повышается производительность обработки. В патенте [24] предлагается за счет повышения амплитуды колебаний, без ущерба для производительности существенно снизить их частоту. При этом эффективность обработки возрастает и резко повышается стабильность ее результатов. За счет обеспечения возможности осуществления процесса релаксации остаточных напряжений в деталях на проход обеспечивается высокая производительность обработки. Кроме того, предложены способы обработки не только кольцевых деталей, но и деталей типа стержней, валов, пластин и др.

Сравнительный анализ результатов эксперимента, проведенного в Ульяновском государственном техническом университете [25], позволил установить, что использование метода ультразвуковой релаксации является полноценной заменой традиционным способам, таким как, например, естественное старение. Доказано, что использование энергии ультразвукового поля позволяет многократно (до 100 и более раз) сократить время производственного цикла детали.

Наиболее эффективно ультразвуковое снятие технологических остаточных напряжений с применением изменяемых по амплитуде и частоте колебаний: при прочих равных условиях их применение по сравнению с колебаниями постоянной амплитуды и частоты обеспечивает дополнительное уменьшение остаточных напряжений на 10...21% для изменяемых по частоте и на 4...17% для изменяемых по амплитуде.

По сравнению с термическим снятием остаточных напряжений технология ультразвуковой релаксации значительно менее энергоемкая, для ее реализации не требуется наличие печей или камер, что особенно важно при изготовлении крупногабаритных деталей. Кроме того, нередко на поверхности деталей, прошедших термическую обработку, возникает оксидная плёнка, которая при дальнейшей эксплуатации детали может повлиять на технические и эстетические характеристики изделия.

Исследования [26] влияния ультразвуковых колебаний на изменение остаточных напряжений, проводимые учеными университета Аалто (Финляндия), позволили установить, что под действием механических колебаний ультразвуковой частоты происходит увеличение усталостной прочности на 12,5% вследствие снятия остаточных напряжений.

Экспериментальные исследования, приводимые в работах Ю.Ф. Кудрявцева [27-29], показали высокую эффективность применения ультразвуковой обработки по снятию остаточных напряжений в различных конструкциях в сравнении с традиционными термическими методами как по производительности, так и по стоимости. Применение ультразвукового метода приводит к устранению деформаций формы, обусловленных остаточными напряжениями, увеличению усталостной долговечности.

Приведенные способы, безусловно, находят широкое применение в промышленности. Но для некоторых изделий необходимо разработать более подробное исследование, чем это было выполнено до сих пор, а также разработать математическую модель процесса стабилизации деформации возникающих в результате остаточных напряжений. Указанная модель должна быть построена с позиции более точного отражения механизма реального процесса релаксации, что позволило бы более точно прогнозировать результаты обработки.

#### Список литературы

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский – М.: Наука, 1976. – 277 с.
2. Лившиц Б.Г. Металлография. – М.: Металлургия, 1971. – 404 с.
3. Bazant Z. P. Stabiliti of structures: elastic, inelastic, fracture and damage theories / Z. P. Bazant, L. Sedolin. – Mineola : Dover Publication, 2003. – 1034 р.
4. Дитер Г.Е. Эффект упрочнения, вызванный ударными волнами // Механизмы упрочнения твердых тел. – М., 1965. - С. 245-303.
5. Егоров А.А. Плазменная поверхностная закалка в машиностроении / А.А. Егоров, А.И. Коровин. – Москва, 1961. - С. 107.
6. Егоров А.А. Плазменная поверхностная закалка в машиностроении / А.А. Егоров, А.И. Коровин. – Москва, 1961. - С. 107.
7. Панин В.Е. Деформация и разрушение поликристаллов при знакопеременном нагружении как диссипативный процесс / В.Е. Панин, Т.Ф. Елсукова // Синергетика и усталостное разрушение металлов: сб. науч. тр. – М.: Наука, 1989. – С. 113–137.

8. Йоффе А.Й. Избранные труды: В 2 т. – Л.: Наука, 1974. – Т. 1. Механические и электрические свойства кристаллов. - 326 с.
9. Бабенко М.Г. Совершенствование технологии обеспечения размерной точности прецизионных деталей типа колец подшипников на основе ультразвуковой стабилизации внутренних напряжений: Дисс... канд. техн. наук. – Саратов, 2002. – 147 с.
10. Королев А.В. Ультразвуковое снятие остаточных напряжений с использованием эффекта кавитации / А.В. Королев, М.Г. Бабенко, С.В. Слесарев // Вестник Саратовского гос. тех. ун-та. - 2009. - N 42. - С. 52-56.
11. Бабенко М.Г. Измерение остаточных напряжений в материале технических объектов методом зондирующего отверстия / М.Г. Бабенко, С.В. Слесарев, А.И. Бабенко // Вестник Саратовского гос. тех. ун-та. - 2011. - N 56. - С. 21-23.
12. Бабенко М.Г. Обеспечение стабильности геометрической формы нежестких деталей технологическими методами / М.Г. Бабенко, С.В. Слесарев // Современные технологии в машиностроении : сб. ст. XIV междунар. науч.-практ. конф., дек. 2010 г. - Пенза, 2010. - С. 144-147.
13. Бабенко М.Г. Энергия деформации заготовок. Современные технологии в машиностроении / М.Г. Бабенко, С.В. Слесарев // Сб. ст. XV междунар. науч.-практ. конф. - Пенза, 2011. - С. 67-69.
14. Бабенко М.Г. Современные технологии изготовления кольцевых деталей. Прогрессивные технологии в современном машиностроении / М.Г. Бабенко, С.В. Слесарев, В.А. Мелентьев // Сб. ст. VII междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2011. – С. 36-38.
15. Ермольчева Н.В. Устройство для дискретного вибрационного резания с созданием регулярного микрорельефа с требуемыми параметрами / Н.В. Ермольчева, А.В. Королев, Б.С. Орлов. - Вестник СГТУ, 2011. - № 2(56). - С. 52-56.
16. Королев А.В. Остаточные напряжения в многослойных кольцевых деталях / А.В. Королев, А.Н. Аничкин // Вестник Саратовского гос. тех. ун-та. - 2010. - №1 (44). - С. 53-59.
17. Королев А.В. Ультразвуковая очистка деталей подшипников / А.В. Королев, А.А. Королев, В.В. Болкунов, А.Н. Васин. – СТИН, 2010. - № 10. - С. 31-34.
18. Королев А.В. Моделирование процесса нагрузок в кольцевых деталях / А.В. Королев, А.Н. Аничкин. - Вестник СГТУ, 2011. - № 2(56). - С. 92-95.
19. Королев А.В. Механизм разрушения деталей типа колец / А.В. Королев, И.М. Ивлюшина, А.И. Комиссаров. - Вестник СГТУ, 2011. - № 2(56). - С. 96-99.
20. A.V. Korolev., A.A. Korolev, V.V. Bolkunov, A.N. Vasin. Ultrasonic cleaning of bearing components / A.V. Korolev., A.A. Korolev, V.V. Bolkunov, A.N. Vasin// Russian Engineering Research.-2011-Vol.31. № 1-P 85-87.
21. A.V. Korolev., A.A. Korolev, V.V. Bolkunov, A.N. Vasin. Waste-free ultrasonic bearing assembly. / A.V. Korolev., A.A. Korolev, V.V. Bolkunov, A.N. Vasin// Russian Engineering Research.-2011-Vol.31. № 4-P 515-51.
22. Halid Can Yildirim and Gary B. Marquis. Fatigue strength improvement factors for high strength steel welded joints treated by high frequency mechanical impact. International Journal of Fatigue, Volume 44, pages 168-176, 2012.
23. Пат. RU №2457100 Российская Федерация, МПК B24B39/04. Способ релаксации остаточных напряжений / А.В. Королев, А.А. Королев, А.А. Королев. - 2012.
24. Пат. RU №2478031 Российская Федерация, МПК B24B39/04, B23P25/00. Способ релаксации остаточных напряжений / А.В. Королев, А.А. Королев, А.А. Королев. - 2013.
25. Киселев Е.С. К вопросу об ультразвуковой релаксации технологических остаточных напряжений, возникающих при лезвийной обработке маложестких деталей / Е.С. Киселев, Е.Н. Лексин // Третья Всеросс. конф. молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроение России 2010». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – С. 23-25.
26. Y. Kudryavtsev, J. Kleiman and Y. Iwamura. Fatigue Improvement of HSS Welded Elements by Ultrasonic Peening. Proceedings of the International Conference on High Strength Steels for Hydro-power Plants, July 20-22, 2009, Takasaki, Japan.
27. Y.Kudryavtsev and J. Kleiman. Increasing Fatigue Strength of Welded Joints by Ultrasonic Impact Treatment. International Institute of Welding. IIW Document XIII-2338-10. 2010.
28. Пат. RU № 2140842 Способ вибростарения деталей / А.В. Королев, А.М. Чистяков, В.А. Кричева, В.Г. Моисеев. - 1999.
29. Y. Kudryavtsev. Ultrasonic measurement of residual stresses in welded Specimens and structures. Proceedings of the ASME 2013 Pressure Vessels and Piping Conference PVP2013-97184, July 14 - 18, 2013, Paris, France.
30. Киселев Е.С. К вопросу об ультразвуковой релаксации технологических остаточных напряжений / Е.С. Киселев, Е.Н. Лексин // Третья Всеросс. конф. молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроение России 2010». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – С. 23-25.

жений, возникающих при лазерной обработке маложестких деталей / Е.С. Киселев, Е.Н. Лексин // Третья Всеросс. конф. молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроение России 2010». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – С. 23-25.

Получено 17.04.2019

---

МФТАА 661.424

**У. Бестереков, С.Р. Ермеков**

М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент қ., Қазақстан

**СУЛЫ-ТҰЗДЫ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ЕРІТКІШ ҚҰРАМЫНДАҒЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ САНДЫҚ ӨЗГЕРІСТЕР**

*В статье приведена информация о количественном изменении в составе растворителя водно-солевых систем, основанных на системе  $NaCl-H_2O$ , относительно области ненасыщенного раствора. В настоящее время используется галургическая технология в переработке водно-солевых систем. При получении их способом охлаждения имеет место быть количественное изменение в состав растворителя. В статье рассматривается зона ненасыщенного раствора для системы  $NaCl-H_2O$  как предмет исследования, а также описательные и количественные исследования количественного изменения в составе растворителя.*

*Мақалада сулы-тұзды жүйелердегі еріткіш құрамындағы температуралық сандық өзгерістері  $NaCl-H_2O$  жүйесінде қанықпаган ерітінді аймағына қатысты келтірілген. Қазіргі уақытта сулы-тұзды жүйелерді өңдеу кезінде галургиялық технологиялар қолданыста. Оларды салқындау жолдарымен алуда еріткіш құрамындағы температуралық өзгерістер орын алады. Мақалада  $NaCl-H_2O$  жүйесінде қатысты қанықпаган ерітінді аймағы зерттеу нысаны ретінде қарастырылып, ондағы орын алатын температуралық санды өзгерістер графикалық талданы. Зерттеу нәтижелері галургиялық үрдістерді дайындауда, олардың тиімді технологиялық көрсеткіштерін алдын ала айқындауда қолданбалақ маңыздылыққа ие.*

*The article provides information on the quantitative changes in the composition of the solvent of water-salt systems based on the  $NaCl-H_2O$  system relative to the area of unsaturated solution. Currently used halurgy technology in the processing of water-salt systems. When they are obtained by a cooling method, there is a quantitative change in the composition of the solvent. The article considers the zone of unsaturated solution for the  $NaCl-H_2O$  system as a subject of research, as well as descriptive and quantitative studies on the quantitative changes in the composition of the solvent.*

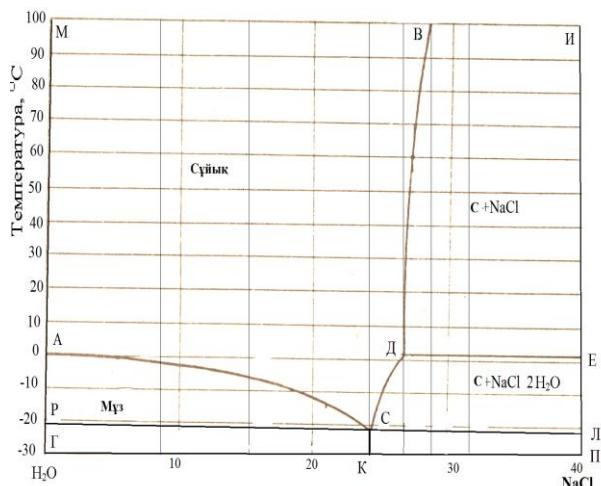
Галургиялық технологиялар негізінде әртүрлі сулы-тұзды жүйелер қолданылады. Оларды буландыру немесе салқындау жолдарымен өңдеу кезінде аталған жүйелерде көптеген құрамдық сандық өзгерістер орын алады. Қазіргі кезге дейін бейорганикалық заттардың химиялық технологиясы мамандығына бакалаврларды мамандандыруда «Галургиялық үрдістердің ілімі мен технологиясы» пәні бойынша негізгі болып табылатын оқулықтар мен оку күралдарында [1, 2] осы мәселе орынсыз ескеруесіз қалдырылып келеді.

Бұл жұмыста сулы-тұзды жүйелердегі құрамдық сандық өзгерістерді зерттеу нәтижелері  $NaCl-H_2O$  жүйесіне қатысты келтірілген. Мұнда мақсатты зерттеулік нәтижелерге жету үшін қарастырылып отырған екі құрамдас жүйедегі еріткіш-судың және еріген зат -  $NaCl$  тұзының қазіргі кезде белгілі құрамдық сандық өзгерістері туралы жалпылама мойындалған ғылыми мәліметтер пайдаланылды [3-11].

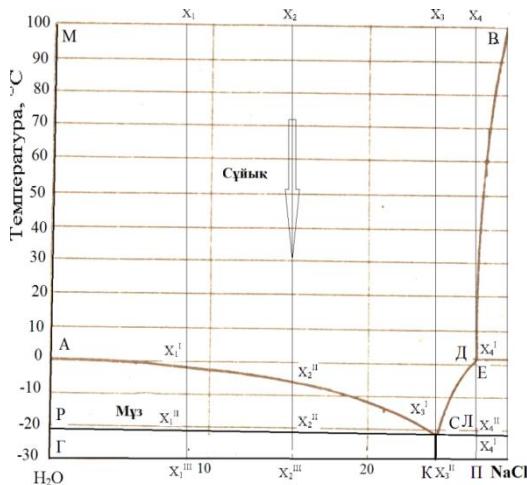
Мақсатты зерттеулерді жүргізу негізінде  $NaCl-H_2O$  жүйесінің белгілі ерігіштік күй диаграммасы (1-сурет) пайдаланылып, бастамалық фигуративтік нұктелер -  $X_1, X_2, X_3, X_4$  қанықпаган ерітінді аймағында орналастырылды. Аталған нұктелердегі ерітінді шоғырлары сәйкесінше 9,5; 15,0; 24,0; 26 % (2-сурет) тең. Қарастырылып отырған

жүйедегі температура өзгерісіне қатысты орын алғатын құрамдық сандық өзгерістерді анықтауда ерітінді массасы 0,1 кг деп кабылданып, құрамдық сандық зерттеулер жүргізуде судың, сулы-тұзды жүйелердің сандық құрамы туралы заманауи ғылыми жетістіктер ескерілді.

Қарастырып отырған жүйедегі құрамдық сандық өзгерістерін сипаттау үшін күй диаграммасы 100 °C температурада еріген тұз осіне параллель горизонталь түзүмен шектелінді. Осы горизонталь түзудің бойынан ерітіндідегі тұздың әртүрлі шоғырларына сәйкес келетін  $X_1, X_2, X_3, X_4$  бастамалық фигуративтік нүктелер белгіленді. Аталған нүктелерден еріген тұз шоғыры осі ГП дейін вертикальдар жүргізілді. Олардың бойынан ГП осі бағытында қанығу қысығы АС - мен, горизонталь РЛ, еріген тұз шоғыры осі ГП-мен қызылстарында  $X_1^I, X_2^I, X_3^I, X_4^I; X_1^{II}, X_2^{II}, X_4^{II}, X_1^{III}, X_2^{III}, X_3^{II}, X_4^{III}$  нүктелері белгіленді.



1-сүрет –  $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$  жүйесінің күй диаграммасы



2-сурет –  $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$  жүйесің құйдиаграммасының зерттемелік қимасы

Зерттеу нысаны болып отырған күй диаграммасы қимасын қолданып,  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  жүйесіндегі құрамдық сандық өзгерістері  $X_1 \rightarrow X_1^{\text{III}}$ ;  $X_3 \rightarrow X_3^{\text{II}}$ ;  $X_4 \rightarrow X_4^{\text{III}}$  вертикальдары бойында талданды. Осы кезде  $X_1 \rightarrow X_1^{\text{III}}$  вертикалы бойында  $X_1 \rightarrow X_1^{\text{I}}$ ;  $X_1^{\text{I}} \rightarrow X_1^{\text{II}}$ ,  $X_1^{\text{II}} \rightarrow X_1^{\text{III}}$ ;  $X_3 \rightarrow X_3^{\text{II}}$  вертикалы бойында  $X_3 \rightarrow X_3^{\text{I}}$ ;  $X_3^{\text{I}} \rightarrow X_3^{\text{II}}$ ;  $X_4 \rightarrow X_4^{\text{III}}$  вертикалы бойында  $X_4 \rightarrow X_4^{\text{I}}$ ;  $X_4^{\text{I}} \rightarrow X_4^{\text{II}}$ ,  $X_4^{\text{II}} \rightarrow X_4^{\text{III}}$  кесінділік аралықтарында жеке-жеке қарастырылды.

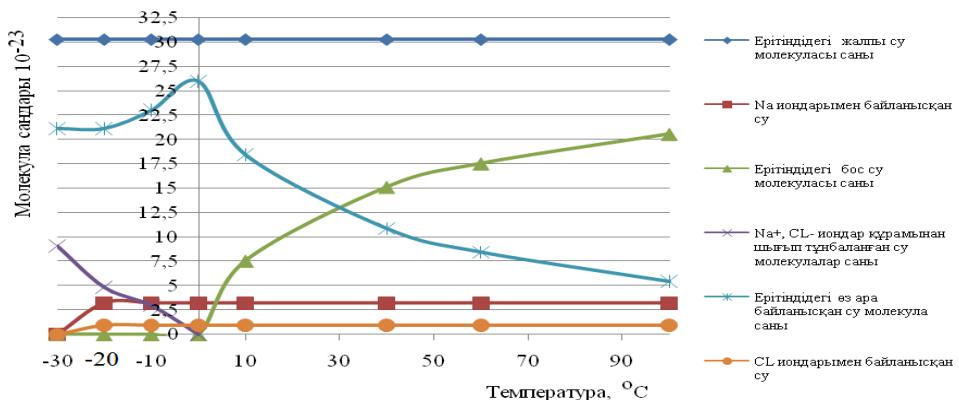
Зерттеулер нәтижелері (1-4 кестелер), графикалық өндөліп (3-6 суреттер) келтірілді.

1-кестеде және 3-суреттө қарастырылып отырылған жүйеде  $X_1 \rightarrow X_1^{III}$  фигуративтік нүктелері аралығында орын алатын құрамдық сандық өзгерістерді зерттеу нәтижелері келтірілген.  $X_1$  нүктесінде ерітінді шоғыры 9,5 %, температурасы  $100^{\circ}\text{C}$ . 1-кестеден және 3-суреттен көрінгендей, барлық зерттеу аралығында ( $100^{\circ}\text{C}$ -дан –  $30^{\circ}\text{C}$  дейін) зерттелген жүйеде жалпы су молекулалар саны (■) тұрақты шама. Осындай заңдылық натрий (■) және хлор (●) иондарымен байланысқан су молекулалары сандарына да қатысты  $100^{\circ}\text{C}$  дан –  $20^{\circ}\text{C}$  дейінгі температуралық аралықта сақталады. Алайда осы кезде жүйеде  $100^{\circ}\text{C}$  дан  $0^{\circ}\text{C}$  дейінгі температуралық аралықта ( $X_1 \rightarrow X_1^I$  фигуративтік нүктелері аралығында) өзара байланысқан сулар саны (■) сандық артады, ал бос сулар (■) азаяды,  $0^{\circ}\text{C}$  температурада жүйеде бос су қалмайды, жүйе мұз өзектерімен қанығады.

1-кесте

$X_1 \rightarrow X_1^{III}$  вертикалы бойындағы еріткіш құрамындағы температуралық сандық өзгерістер көрсеткіштері

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Ерітіндідегі жалпы су молекулалары саны, $10^{-23}$	Ерітіндідегі өзара байланысқан су молекулалары саны, $10^{-23}$	Ерітіндідегі бос су молекулалары саны, $10^{-23}$	$\text{Na}^+$ иондарымен байланысқан су молекулалары саны, $10^{-23}$	$\text{Cl}^-$ иондарымен байланысқан су молекулалары саны, $10^{-23}$	$\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ иондар құрамынан шығып тұнбаланған су молекулалары саны, $10^{-23}$
100	30,279	5,45	20,58	3,26	0,987	0
60	30,279	8,47	17,55	3,26	0,987	0
40	30,279	10,9	15,13	3,26	0,987	0
10	30,279	18,47	7,56	3,26	0,987	0
0	30,279	26,03	0	3,26	0,987	0
-10	30,279	23,04	0	3,26	0,987	2,98
-20	30,279	21,18	0	3,26	0,987	4,85
-30	30,279	21,18	0	0	0	9,09



3-сурет – Еріткіш құрамындағы сандық өзгерістердің  $X_1 \rightarrow X_1^{III}$  вертикалы бойынша температураға тәуелділігі

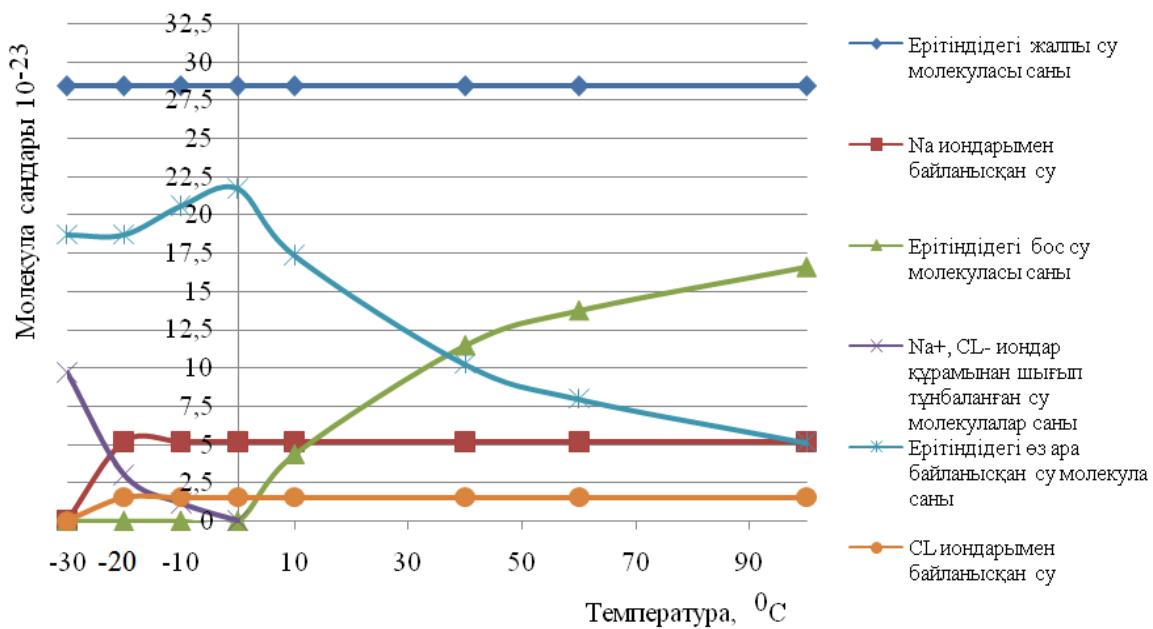
Ары қарай  $0^{\circ}\text{C}$  мен  $-20^{\circ}\text{C}$  температуралық аралығында ( $X_1^I \rightarrow X_1^{II}$  фигуративтік нүктелері аралығында) жүйеде өзара байланысқан сулар (—\*—) саны кемиді. Осы кезде жүйеде өзара байланысқан сулардан қалыптасып, тұнбага мұз түседі, ондағы мұзға айналған сулар (—\*—) саны артады.  $-20^{\circ}\text{C}$  температурада жүйенің сұйық күйі мұз өзектерімен де,  $\text{NaCl}$  тұзымен де қанығып, әвтектикалық құрамды 24 %  $\text{NaCl}$  және 76 % өзара байланысқан судан тұрады.

$-20^{\circ}\text{C}$  мен  $-30^{\circ}\text{C}$  температуралық аралығында ( $X_1^{II} \rightarrow X_1^{III}$  фигуративтік нүктелері аралығында) жүйеде сұйық күй болмайды. Өзара байланысқан сулар санды өзгеріске ұшырамай, мұзға айналады, ал  $\text{Na}^+$  және  $\text{Cl}^-$  иондарымен байланысқан гидраттық сулар иондар құрамынан түгел шығып (—■—, —●—) өзара байланысқан сулардан қалыптасып,  $0^{\circ}\text{C}$  мен  $-20^{\circ}\text{C}$  температуралық аралығында тұнбага тұсқен мұзға қосымша мұз болып қосылады (—\*—). Осы кезде  $-30^{\circ}\text{C}$  температурада қарастырылып отырған жүйедегі барлық су толығымен мұз болып, тұнбаланады.

2-кесте

$X_2 \rightarrow X_2^{III}$  вертикалы бойындағы еріткіш құрамындағы температуралық сандық өзгерістер көрсеткіштері

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Ерітіндідегі жалпы су молекулалары саны, $10^{-23}$	Ерітіндідегі өзара байланысқан су молекулалары саны, $10^{-23}$	Ерітіндідегі бос су молекулалары саны, $10^{-23}$	$\text{Na}^+$ иондарымен байланысқан су молекулалары саны, $10^{-23}$	$\text{Cl}^-$ иондарымен байланысқан су молекулалары саны, $10^{-23}$	Na+, Cl- иондар құрамынан шығып, тұнбаланған су молекулалары саны, $10^{-23}$
100	28,436	5,118	16,61	5,157	1,559	0
60	28,436	7,962	13,76	5,157	1,559	0
40	28,436	10,236	11,48	5,157	1,559	0
10	28,436	17,346	4,37	5,157	1,559	0
0	28,436	21,72	0	5,157	1,559	0
-10	28,436	20,58	0	5,157	1,559	1,14
-20	28,436	18,71	0	5,157	1,559	3,01
-30	28,436	18,71	0	0	0	9,73



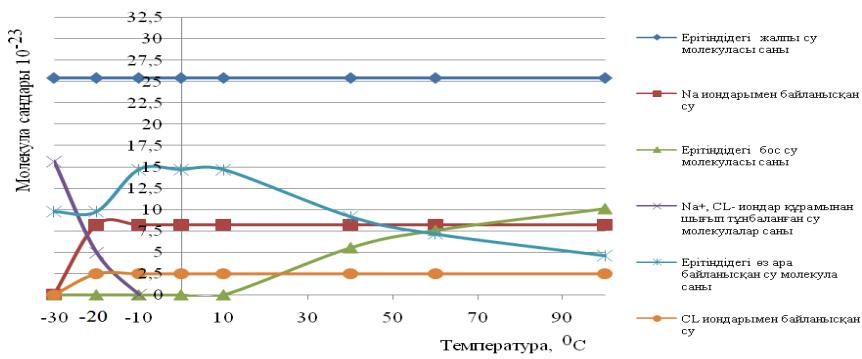
4-сурет – Еріткіш құрамындағы сандық өзгерістердің  $X_2 \rightarrow X_2^{III}$  вертикалы бойынша температураға тәуелділігі

2-кестеде және 4-суретте қарастырылып отырылған жүйеде  $X_2 \rightarrow X_2^{III}$  фигуративтік нұктелері аралығында орын алғатын құрамдық сандық өзгерістерді зерттеу нәтижелері көлтірілген.  $X_2$  нүктесінде ерітінді шоғыры 15,0 %, ал температурасы  $X_1$  нүктесіндегідей 100  $^{\circ}\text{C}$ . Осыған байланысты  $X_2 \rightarrow X_2^{III}$  фигуративтік нұктелері аралығында құрамдық сандық өзгерістер  $X_1 \rightarrow X_1^{III}$  фигуративтік нұктелері аралығында құрамдық сандық өзгерістерді сипаты жағынан түгел қайталай отырып, тек қана олардан әрбір  $X_2 \rightarrow X_2^{III}$  фигуративтік нұктелері аралығындағы нұктелерде сандық қана айырмашылықтанады.

## 3-кесте

$X_3 \rightarrow X_3^{II}$  вертикалы бойындағы еріткіш құрамындағы температуралық сандық өзгерістер көрсеткіштері

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Ерітіндідегі жалпы су молекулалары саны, $10^{-23}$	Ерітіндідегі өзара байланысқан су молекулалары саны, $10^{-23}$	Ерітіндідегі бос су молекулалары саны, $10^{-23}$	$\text{Na}^+$ иондарымен байланысқан су молекулалары саны, $10^{-23}$	$\text{Cl}^-$ иондарымен байланысқан су молекулалары саны, $10^{-23}$	$\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ иондар құрамынан шығып, тұнбаланған су молекулалары саны, $10^{-23}$
100	25,425	4,5767	10,1026	8,251	2,495	0
60	25,425	7,1193	7,5599	8,251	2,495	0
40	25,425	9,1535	5,5258	8,251	2,495	0
10	25,425	14,681	0	8,251	2,495	0
0	25,425	14,681	0	8,251	2,495	0
-10	25,425	14,681	0	8,251	2,495	0
-20	25,425	9,74	0	8,251	2,495	4,94
-30	25,425	9,74	0	0	0	15,68



5-сурет – Еріткіш құрамындағы сандық өзгерістердің  $X_3 \rightarrow X_3^{II}$  вертикалы бойынша температураға тәуелділігі

3-кестеде және 5-суретте қарастырылып отырылған жүйеде  $X_3 \rightarrow X_3^{II}$  фигуративтік нұктелері аралығында орын алатын құрамдық сандық өзгерістерді зерттеу нәтижелері келтірілген.  $X_3$  нұктесінде ерітінді шоғыры 24,0 %, ал температурасы  $100^{\circ}\text{C}$ .

3-кестеден және 5-суреттен көрінгендегі, барлық зерттеу аралығында ( $100^{\circ}\text{C}$  дан –  $30^{\circ}\text{C}$  дейін) зерттелген жүйеде жалпы су молекулалары (—♦—) саны тұрақты шама. Осындағанда өзара байланысқан су молекулалары сандарына да катысты  $100^{\circ}\text{C}$ -дан  $-20^{\circ}\text{C}$  дейінгі температуралық аралықта сакталады. Алайда осы кезде жүйеде  $100^{\circ}\text{C}$ -дан  $10^{\circ}\text{C}$  дейінгі температуралық аралықта өзара байланысқан сұлар сандық артады, ал бос сұлар (—★—) азаяды,  $10^{\circ}\text{C}$  температурада жүйеде бос су қалмайды. Ары қарай  $10^{\circ}\text{C}$  мен  $-10^{\circ}\text{C}$  температуралық аралығында және  $10^{\circ}\text{C}$  мен  $-20^{\circ}\text{C}$  температуралық аралығында, сәйкесінше, өзара байланысқан сұлар (—■—) сандары тұрақты шама.

$-20^{\circ}\text{C}$  температурада жүйе мұз өзектерімен және  $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  кристаллогидратымен қанығып, өвтектекиалық құрамды 24 %  $\text{NaCl}$  және 76% өзара байланысқан судан тұрады. Бұл нұктеде барлық өзара байланысқан судың құрамынан әрбір  $\text{NaCl}$  молекуласына

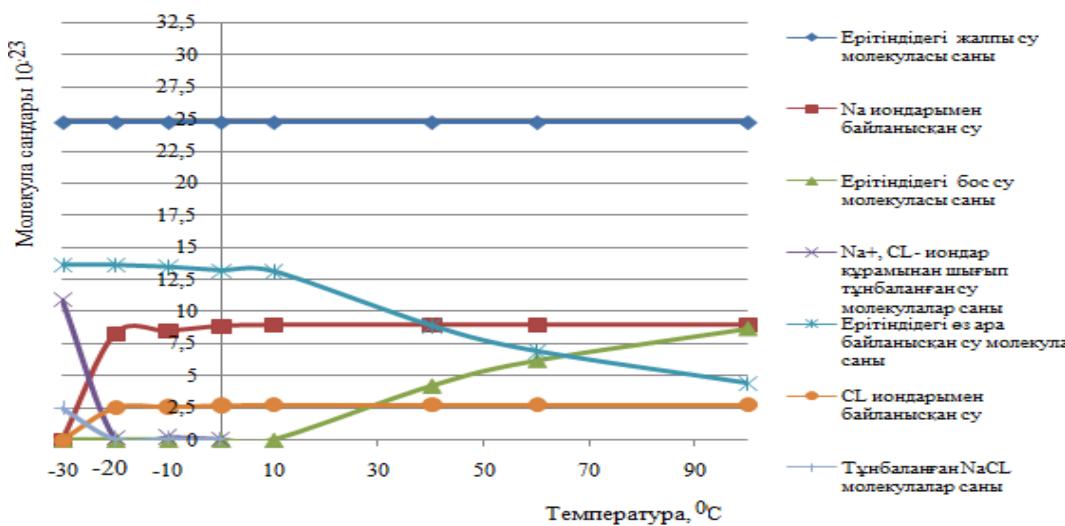
сәйкес келетін екі  $\text{H}_2\text{O}$  молекулалары шығып,  $\text{NaCl}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  кристаллогидраты құрамына байланысқан су ретінде кіреді. Нәтижесінде өзара байланысқан судын (—\*—) саны азаяды.

-20  $^{\circ}\text{C}$  мен -30  $^{\circ}\text{C}$  температуралық аралығында ( $\text{X}_3^{\text{I}} \rightarrow \text{X}_3^{\text{II}}$  фигуративтік нұктелері аралығында) жүйеде сұйық күй болмайды. Өзара байланысқан сулар сандық өзгеріске ұшырамай, мұзға айналады. Осы кезде  $\text{Na}^+$  және  $\text{Cl}^-$  иондарымен байланысқан гидраттық сулар иондар құрамынан түгел шығып (—■—, —●—) өзара байланысқан сулардан қалыптасып, тұнбаға түсken мұзға қосымша мұз болып қосылады (—\*—). Сонымен қатар, -20  $^{\circ}\text{C}$  мен -30  $^{\circ}\text{C}$  температуралық аралығында әрбір  $\text{NaCl}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  кристаллогидраттары құрамындағы байланысқан екі су молекулалары да мұзға айналып, тұнбаланады. Нәтижесінде қосымша мұзға айналған сулар саны арттады.

4-кесте

$\text{X}_4 \rightarrow \text{X}_4^{\text{III}}$  вертикалы бойындағы еріткіш құрамындағы температуралық сандық өзгерістер көрсеткіштерi

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Ерітіндідегі жалпы су молекулалары саны, $10^{-23}$	Ерітіндідегі өзара байланысқан су молекулалары саны, $10^{-23}$	Ерітіндідегі бос су молекулалары саны, $10^{-23}$	$\text{Na}^+$ иондарымен байланысқан су молекулалары саны, $10^{-23}$	$\text{Cl}^-$ иондарымен байланысқан су молекулалары саны, $10^{-23}$	$\text{Na}^+, \text{Cl}^-$ иондар құрамынан шығып, тұнбаланған су молекулалары саны, $10^{-23}$	Тұнбаланған $\text{NaCl}$ тұзы молекулалары саны, $10^{-23}$
100	24,7573	4,4563	8,658	8,9393	2,703	0	0
60	24,7573	6,932	6,182	8,9393	2,703	0	0
40	24,7573	8,9126	4,202	8,9393	2,703	0	0
10	24,7573	13,1147	0	8,9393	2,703	0	0
0	24,7573	13,1805	0	8,8431	2,6741	0,062	0,03
-10	24,7573	13,4536	0	8,458	2,5576	0,226	0,144
-20	24,7573	13,5983	0	8,251	2,4952	0,124	0,206
-30	24,7573	13,5983	0	0	0	10,87	2,47



6-сурет – Еріткіш құрамындағы сандық өзгерістердің  $\text{X}_4 \rightarrow \text{X}_4^{\text{III}}$  вертикалы бойынша температурага тәуелділігі

4-кестеде және 6-суретте қарастырылып отырылған жүйеде  $X_4 \rightarrow X_4^{III}$  фигуративтік нұктелері аралығында орын алатын құрамдық сандық өзгерістерді зерттеу нәтижелері келтірілген.  $X_4$  нұктесінде ерітінді шоғыры 26,0 %, ал температурасы 100  $^{\circ}\text{C}$ .

4-кестеден және 6-суреттен көрінгендей, барлық зерттеу аралығында (100  $^{\circ}\text{C}$ -дан –30  $^{\circ}\text{C}$  дейін) зерттелген жүйеде жалпы су молекулалар (—●—) саны тұрақты шама. Осындағандаңылық натрий (—■—) және хлор (—●—) иондарымен байланысқан су молекулалары сандарына да катысты 100  $^{\circ}\text{C}$ -дан 10  $^{\circ}\text{C}$  дейінгі температуралық аралықта сакталады. Алайда осы кезде жүйеде 100  $^{\circ}\text{C}$ -дан 10  $^{\circ}\text{C}$  дейінгі температуралық аралықта өзара байланысқан сулар саны (—■—) сандық артады, ал бос сулар (—▲—) азаяды, 10 $^{\circ}\text{C}$  температурада жүйеде бос су қалмайды.

Ары қарай фигуративтік нұктесі 2  $^{\circ}\text{C}$  жеткенде, жүйе  $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  кристаллогидратымен қанығады да, эвтектикалық 25,72 %  $\text{NaCl}$  және 74,28 % су құрамды қаныққан ерітіндіге айналады. Осы кезде жүйеде  $\text{NaCl}$  тұзы пайда болу нәтижесінде осыған сәйкес әр  $\text{Na}^+$  және  $\text{Cl}^-$  иондарымен байланысқан 4,35 гидраттық сулар босайды да, олардың әр пайда болған  $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  кристаллогидраты құрамына 2 молекулалары ғана кіруіне байланысты, жүйеде өзара байланысқан сулар саны артады.

Жүйенің фигуративтік нұктесі  $X_4 \rightarrow X_4^{III}$  вертикалы бойымен 0 $^{\circ}\text{C}$  температураға жеткенде жүйеден  $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  кристаллогидраттары тұнбаланады. Осы кезде жүйеде  $\text{Na}^+$  және  $\text{Cl}^-$  иондарымен байланысқан гидраттық сулар (—■—, —●—) саны,  $\text{NaCl}$  тұзының тұнбаға түсіне байланысты, иондар құрамынан шығып азаяды, ал өзара байланысқан сулар (—■—) саны артады. Осы үрдіс -20 $^{\circ}\text{C}$  дейін жалғасады.

–20  $^{\circ}\text{C}$  температурада жүйеде мұзбен  $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  кристаллогидраттарымен қаныққан, эвтектикалық құрамды 24 %  $\text{NaCl}$  және 76 % судан тұратын қаныққан ерітінді пайда болады. Сонымен қатар, осы кезде жүйе құрамында тұнбаланған  $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  кристаллогидраттары бар.

–20  $^{\circ}\text{C}$  мен –30 $^{\circ}\text{C}$  температуралық аралығында ( $X_4^{II} \rightarrow X_4^{III}$  фигуративтік нұктелері аралығында) жүйеде сұйық күй болмайды. Өзара байланысқан сулар сандық өзгеріске ұшырамай мұзға айналады. Осы кезде  $\text{Na}^+$  және  $\text{Cl}^-$  иондарымен байланысқан гидраттық сулар иондар құрамынан түгел шығып (—■—, —●—) өзара байланысқан сулардан қалыптасып тұнбаға түсін мұзға қосымша мұз болып қосылады (—■—). Сонымен қатар, –20  $^{\circ}\text{C}$  мен –30  $^{\circ}\text{C}$  температуралық аралығында әрбір  $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  кристаллогидраттары құрамындағы байланысқан екі су молекулалары да мұзға айналып, тұнбаланады. Нәтижесінде қосымша мұзға айналған сулар саны артады.

Қарастырылып отырыған жүйеде 0  $^{\circ}\text{C}$  мен –30  $^{\circ}\text{C}$  аралығында жүйенің фигуративтік нұктесі  $X_4^{I} \rightarrow X_4^{III}$  вертикалы бойымен төмендегендеге, жүйеде тұнбаға түсін  $\text{NaCl}$  тұздары мөлшері сандық артады да, –30 $^{\circ}\text{C}$  температурада ерітіндідегі барлық  $\text{NaCl}$  тұзы түгел тұнбаланады.

Жоғарыда келтірілген нәтижелерге сүйене отырып, қанықпаған сулы-тұзды жүйелерде оларды толығынан сұйық күйден қатты күйге айналдырғанда еріткіштің құрамында орын алатын құрамдық сандық өзгерістер туралы төмендегідей қорытындылар жасауға болады:

1. Кез келген қанықпаған сулы-тұзды жүйелерді салықындау нәтижесінде толығынан сұйық күйден қатты күйге айналдырғанда еріткіштің құрамында құрамдық сандық өзгерістер орын алады.

2. Еріткіштің құрамында құрамдық сандық өзгерістерді қанықпаған сулы-тұзды жүйелердің күй айналары қолданысында айқын зерттеуге болады. Олар кез келген сулы-тұзды жүйелер үшін қанықпаған ерітінді аймағынан, қанықпаған ерітіндінің мұзбен қанығу қисығынан, эвтектикалық құрам нұктесінен, қанықпаған ерітіндінің еріген тұзбен қанығу қисығынан, қаныққан ерітіндіден мұздың және еріген тұздың тұнбаланатын

аймағынан, тек қана қатты күйдегі мұздан, тұнбаланған тұздан және олардың қоспасынан тұратын аймақтардан тұрады. Аталған аймақтар ішінде, қисықтар бойында, нұктелерде жүйе сандық өзгерістерге ұшырайды. Осында өзгерістердің нысандары болып сұлытұзды жүйе құрамдастары еріткіш – су, еріген зат – тұз және олардың негізінде жүйе құрамында пайда болатын мұз, тұнбаланған тұз және оның кристаллогидраттары табылады.

3. Қанықпаған ерітінді аймағында орналасқан бастамалық фигуративтік нұктелерді еріткіштің қайнау температурасынан бастап мүмкінді төмен температураға дейін салқындастқанда барлық жағдайда дерлік 0  $^{\circ}\text{C}$  температура аймағына дейін жүйедегі судың құрамындағы өзара байланысқан сулар молекулалар саны артады, ал бос су молекулалар саны 0-ге дейін төмендейді.

4. 0  $^{\circ}\text{C}$  төмен температураударда төменгі шоғырлы ерітінділерде өзара байланысқан сулар саны азайып,  $-20\ ^{\circ}\text{C}$  төменгі температураударда тұрақтанады, ал шоғыры жоғары ерітінділерде 0  $^{\circ}\text{C}$  жоғары температураударда өзара байланысқан сулар молекулалар саны  $-20\ ^{\circ}\text{C}$  дейін артып, одан төменгі температураударда тұрақтанады.

5. Барлық зерттеулік жағыдайларында дерлік  $\text{Na}^+$  және  $\text{Cl}^-$  иондары құрамындағы гидраттық сулар саны  $-20\ ^{\circ}\text{C}$  дейін тұрақты шама болып қалып, температура ары қарай төмендегендеге азайып,  $-30\ ^{\circ}\text{C}$  жеткенде 0-ге айналады.

6. Барлық зерттеулік жағдайларда 0  $^{\circ}\text{C}$  төмен температураударда өзара байланысқан сулардан қалыптасып, мұз күйінде тұнбаланған сулар молекулалары сандары артады. Аталған занылық жүйедегі ерітінді шоғыры жоғарлаған сайын солғұрлым төменгі температураударда бастамаланады.

7. Барлық зерттеулік температураудар аралығында өзара байланысқан, бос, гидраттық және мұз күйінде тұнбланған су молекулалары қосындысы өзгеріссіз тұрақты шама ретінде сақталады.

#### Пайдаланылған деректер тізімі

1. Здановский А.Б. Галлургия. – Л.: Химия. 1982. – 528 с.
2. Бестереков Ү. Галургиялық үрдістер технологиясы / Ү. Бестереков, А.А. Болысбек, Ұ.Б. Назарбек. – Шымкент, 2014.
3. Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. – М.: АН СССР, 1957.
4. Антонченко В.Я. Основы физики воды / В.Я. Антонченко, А.С. Давыдов, В.В. Ильин. – Киев: Наукова думка, 1991. - 672 с.
5. Бернал Д.Д. Структура воды и ионных растворов / Д.Д. Бернал, Р. Фаулер // Успехи физ. науки – 1994. – № 5. – 121 с.
6. Зацепина Г.Л. Физические свойства и структура воды. – М.: Изд-во Мос. ун-та, 1998. – 185 с.
7. Бестереков Ү. Основы квантово-статистических представлений строения объемной водной среды / Ү. Бестереков, В.К. Бишимбаев // Химия и химическая технология. - 2004. - Т. 47. – С. 46-50.
8. Francesco Paesani and Gregory A.Voth. The Properties of Water: Insights from Quantum Simulations. J.Phys. Chem. B 2009, 113. 5702-5719
9. Смирнов А.Н. Структура воды: новые экспериментальные данные // Наука и технологии в промышленности, 2010. – № 4. – С. 41-45.
10. Колотовой Н.А. Структура и свойства воды. – М., 2015. – 166 с.
11. Бестереков Ү. Состав, структура и свойства воды / Ү. Бестереков, А. Болысбек, Ү. Назарбек. – Ш.: ЮКГУ, 2015. – 108 с.
12. Евдокимова Е.Г. О структуре фазовых разновидностей воды // Вестник Национальной академии науки РК. – 2008. – № 6. – С. 125-131.

Қабылданды 1.02.2019

МРНТИ 29.37.17, 37.21.77

**Е.В. Блинаева, Н.С. Блинаева, Д.Б. Ақбасова, Г.В. Попова, Р.К. Нурсадыкова**

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

**ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИНФРАЗВУКОВОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ НА ОБРАЗЦЫ НЕФТИ**

*В статье описан процесс проведенных экспериментальных исследований для подтверждения гипотезы о влиянии звуков низкой частоты на образцы сырой нефти на снижение содержания парафина и серы. Представлены результаты обработки данных эксперимента.*

*Мақалада тәмәнгі жиіліктері дыбыстардың шикі мұнай улғілеріне парафин мен күкірттің құрамын тәмәндегу әсері туралы гипотезаны растау үшін жүргізілген тәжірибелік зерттеулер үдерісі сипатталған. Эксперимент деректерін өңдеу нәтижелері ұсынылған.*

*The article describes the process of experimental studies to confirm the hypothesis of the influence of low-frequency sounds on crude oil samples to reduce the content of paraffin and sulfur. The results of experimental data processing are presented.*

**Ключевые слова:** звуки низкой частоты, снижение парафина, снижение серы.

Исследователи ВКГТУ им. Д. Серикбаева выдвинули гипотезу о возникновении инфразвуковой низкочастотной кавитации в образцах нефти, подвергнутых воздействию волн низкой частоты. Для проверки гипотезы были проведены следующие исследования. Проведение эксперимента осуществлялось в условиях помещения лаборатории [1]. Образцы сырой нефти разливались в емкости одинакового объема. Каждая емкость маркировалась соответствующими данными (№ пробы, характеристики эксперимента, место забора нефти). Отдельно была подготовлена емкость с контрольным образцом сырой нефти.

Подготовленные емкости с образцами нефти устанавливались под низкочастотным излучателем. На генераторе излучателя устанавливались требуемые параметры инфразвука. После установки всех параметров прибор включался и осуществлялось воздействие звука низкой частоты на экспериментальный образец.

По окончании времени воздействия прибор отключался. Емкость с обработанным образцом заменялась на следующий экземпляр и опыт повторялся.

Продолжительность работы прибора находилась в интервале от 10 до 30 мин. Эксперименты проводились в течение 4 рабочих дней.

После проведения эксперимента пробы нефти были исследованы в аккредитованной лаборатории НПЦ «САТИМ» ВКГТУ им. Д. Серикбаева на предмет измерения концентрации парафина и содержания серы в образцах, подвергнутых обработке инфразвуком, и в контрольных (необработанных) образцах.

Сравнение полученных лабораторных данных по пробам нефти разных месторождений показало, что нефти указанных месторождений существенно отличаются между собой исходными показателями по содержанию парафина и серы.

Нефть тарбагатайского месторождения изначально менее вязкая, исходная вязкость составила 30,61 сСт.

Нефть зайсанского месторождения показала исходную вязкость более, чем в 2 раза - 63,30 сСт.

Результаты по нефти тарбагатайского месторождения представлены на рис. 1-4.

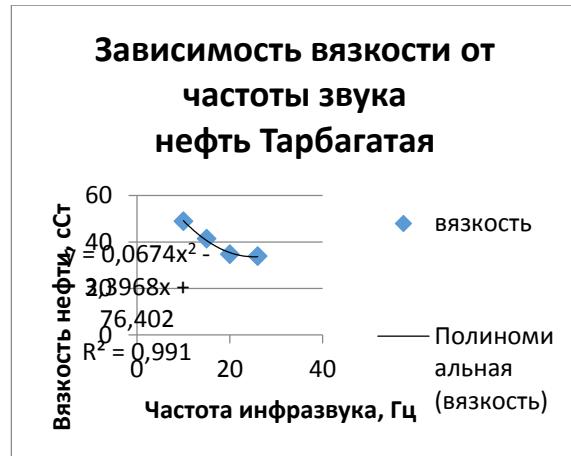


Рисунок 1 – График зависимости вязкости нефти от частоты инфразвука

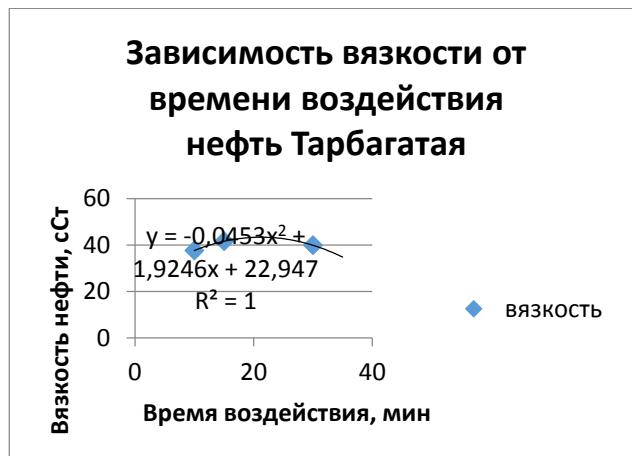


Рисунок 2 – График зависимости вязкости нефти от времени воздействия инфразвука

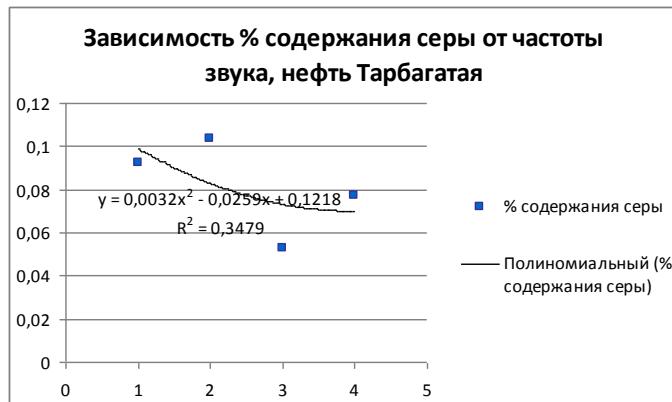


Рисунок 3 – График зависимости содержания серы в нефти от частоты инфразвука

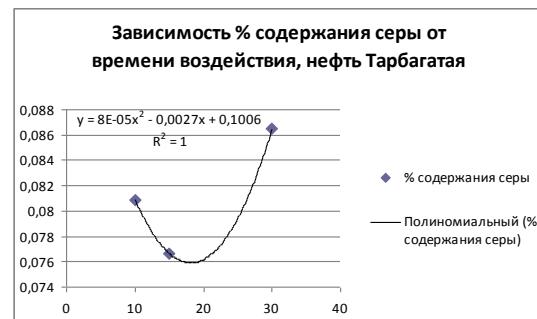


Рисунок 4 – График зависимости содержания серы в нефти от времени воздействия инфразвука

На основе статистической обработки данных эксперимента [2] по нефти Тарбагатая можно сделать вывод о большей степени зависимости содержания серы и концентрации парафина от времени воздействия инфразвука, что подтверждается более высоким значением коэффициента аппроксимации данных.

Результаты по нефти зайсанского месторождения представлены на рис. 5-8.

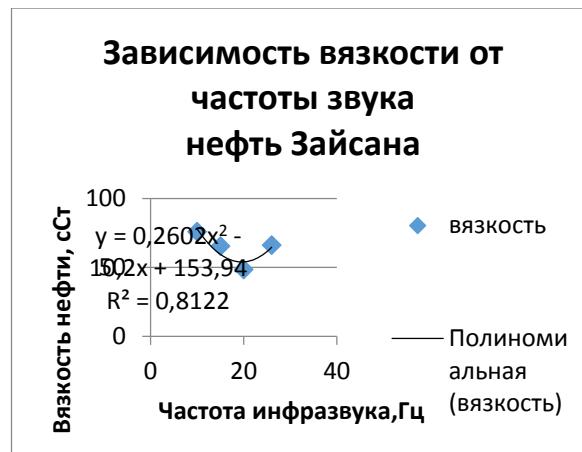


Рисунок 5 – График зависимости вязкости нефти от частоты инфразвука

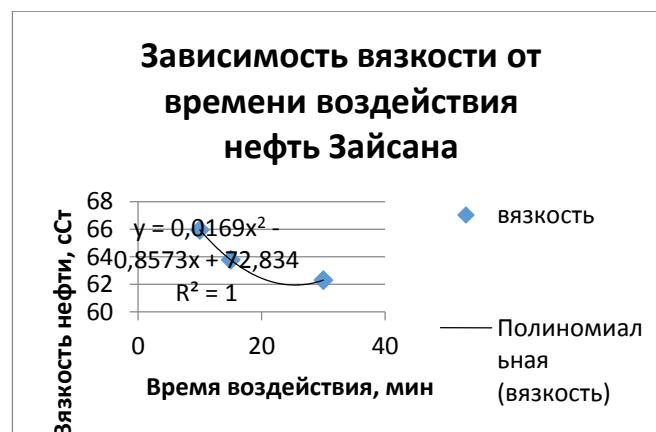


Рисунок 6 – График зависимости вязкости нефти от времени воздействия инфразвука

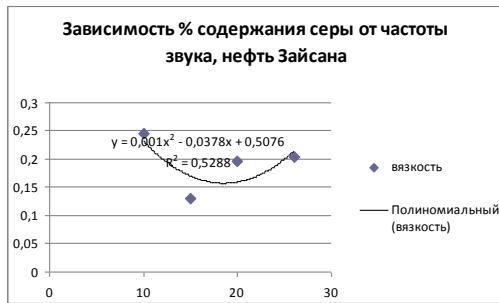


Рисунок 7 – График зависимости содержания серы в нефти от частоты инфразвука

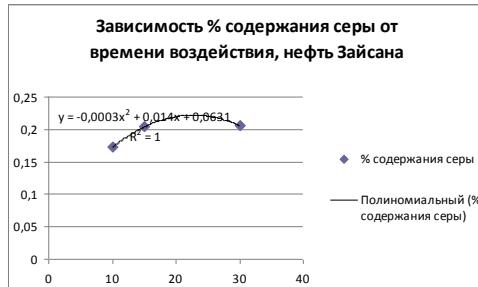


Рисунок 8 – График зависимости содержания серы в нефти от времени воздействия инфразвука

На основе статистической обработки данных эксперимента [2] по нефти Зайсана можно сделать аналогичный вывод о большей степени зависимости содержания серы и концентрации парафина от времени воздействия инфразвука, что подтверждается более высоким значением коэффициента аппроксимации данных. Образцы зайсанской нефти в большей степени реагировали на время воздействия инфразвука, а от частоты звука зависели гораздо меньше (что подтверждает коэффициент аппроксимации  $R^2=0,53$ ).

Сравнительный анализ полученных после обработки инфразвуком значений по вязкости и содержанию серы в нефти исследуемых месторождений показал, что в тарбагатайской нефти вязкость и процент содержания серы уменьшились в среднем на 30%. По нефти зайсанского месторождения аналогичные показатели составили около 1%. Данные результаты однозначно требуют проведения дальнейших исследований с учетом различий между химическим составом нефти различных месторождений.

Результаты статистической обработки лабораторных данных позволяют сделать вывод о несомненном влиянии звуков низкой частоты на концентрацию парафина и процент содержания серы в пробах обработанной сырой нефти. Наилучшую аппроксимацию показали полиномиальные линии тренда, что косвенно подтверждает первоначально выдвинутую гипотезу о нелинейности процессов, протекающих в нефти, обработанной инфразвуком.

#### Список литературы

1. Баскин Ю.Г. Методика проведения натурно-виртуального лабораторного эксперимента / Ю.Г. Баскин, Е.Б. Сусленкова // Науч.-теорет. журнал «Учетные записки». – 2009. - № 9 (55).
2. Шорохова И.С. Статистические методы анализа: Учеб. пособие / И.С. Шорохова, Н.В. Кисляк, О.С. Мариев // М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 300 с.

Получено 17.04.2019

МРНТИ 28.21.19

**В.В. Золотарёв**

Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

**Г.В. Овечкин**

Рязанский государственный радиотехнический университет, г. Рязань, Россия

**Е.Д. Омирбаев, Д.Ж. Сатыбалдина, Н.Н. Ташатов**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-султан

**ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АЛГОРИТМОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ СВЕРТОЧНЫХ КОДОВ В БЛИЗИ ГРАНИЦЫ ШЕННОНА ДЛЯ РАБОТЫ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ**

*В статье приводится краткое сопоставление характеристик многопороговых декодеров (МПД) для сверточных кодов и наиболее известных методов исправления ошибок. Представлены также новые результаты об эффективности использования МПД в каналах со стираниями. Результаты имитационного моделирования показывают, что МПД для двоичных и недвоичных сверточных кодов были наиболее простыми и быстрыми, и их производительность была одной из лучших для систем беспроводной связи, работающих на границе Шеннона.*

*Мақалада жинақтау кодтарына және қателерді түзетудің ең танымал әдістеріне арналған көшшекті декодер (КШД) сипаттамаларының қысқаша салыстырылуы көлтіріледі. Сондай-ақ өшірүлі каналдарда КШД пайдалану тиімділігі туралы жаңа нәтижелер ұсынылған. Имитациялық модельдеу нәтижелері көрсеткендегі екілік және екілі емес үйріктілік кодтар үшін КШД өте қаралайым және жылдам, және олардың өнімділігі Шенон шекарасында жұмыс істейтін сымсыз байланыс жүйелері үшін ең үздік болды.*

*A brief performances comparison of the of multithreshold decoders (MTD) and the most well-known error correction methods. Also presented new results on the MTD 's effectiveness over erasure channels. Simulation results show that MTD for binary and non-binary convolutional codes were the simplest and fastest, and their performance was one of the best for wireless communication systems operating on the Shannon limit.*

**Ключевые слова:** граница Шеннона, многопороговые декодеры, помехоустойчивое кодирование, сверточные коды, телекоммуникационные системы.

Одной из наиболее актуальных задач в теории и практике беспроводной связи является повышение эффективности передачи сигнала. Данное требование означает, что системы связи должны обеспечивать максимальную скорость, качество и диапазон надежной передачи от периферийных передающих блоков к базовым станциям. Одновременно это следует делать при минимальном энергопотреблении, стоимости, сложности и размерах передающих устройств, а также при оптимальном использовании полосы пропускания радиоканала [1]. Решение этой, внутренне противоречивой задачи известно: мощность и спектральная эффективность систем связи должны быть максимально приближены к границе Шеннона [1].

Аналитическое выражение для границы Шеннона имеет вид [2]:

$$\frac{E^{bit}}{N_\xi} = \frac{F_0}{C} \left( 2^{\frac{C}{F_0}} - 1 \right) = \frac{Q^2}{\log_2(1+Q^2)}, \quad (1)$$

где  $E^{bit}$  [J/bit] – это «энергия бита», т. е. средняя энергия, необходимая для передачи одного бита информации;  $F_0$  – ширина полосы пропускания для одной стороны канала;  $C$  [бит/с] описывает пропускную способность канала. Значение  $Q^2 = W^{sign}/\sigma_\xi^2$  определяет мощность сигнала относительно фонового шума канала связи, т.е. отношение сигнал/шум (signal-to-noise ratio, SNR), а параметры  $W^{sign}$  [J/s],  $\sigma_\xi^2$  [W] и  $N_\xi/2 = \sigma_\xi^2/2F_0$  [W/Hz] описывают, соответственно, мощность, среднюю мощность передаваемого сигнала и спектральную плотность мощности шума в канале. Данные выражения определены для

гауссовского канала (additive white Gaussian noise, AWGN). Значение  $E^{bit}/N_\xi$  представляет собой более удобное для анализа [2] «нормализованное» отношение SNR как  $E^{bit}/N_\xi = Q^2 2F_0/R$  [dB], которое характеризует энергетическую эффективность системы, где параметр  $R$  - битовую скорость. В свою очередь, отношение  $R/F_0$  [bit/s/Hz] определяет эффективность использования полосы пропускания канала.

Формула (1) следует из известной формулы Шеннона для пропускной способности каналов с AWGN и является базовой как в теории информации, так и в проектировании систем связи, поскольку определяет «идеальный», наиболее эффективный компромисс между мощностью, полосой пропускания и достоверностью передачи информации. Согласно теореме Шеннона, только в случае выполнения неравенства  $R < C$  существуют корректирующие коды, которые позволяют сделать вероятность ошибки в приемнике произвольно малой. В обратном случае при  $R > C$  сколь угодно малая вероятность ошибки недостижима.

Современные разработки в области кодов, исправляющих ошибки, такие как коды Рида – Соломона (RS), коды с проверкой четности с низкой плотностью (LDPC) и турбокоды, значительно приблизились к достижению теоретического предела Шеннона. В работе [3] было показано, что коды LDPC эффективны всего на 0,0045 dB от предела Шеннона для двоичных каналов с AWGN с длиной блока порядка  $10^7$ . Число итераций декодирования было в пределах от 800 до 1100, что требует вычислительных мощностей цифровых сигнальных процессоров, но это приводит к увеличению затрат.

Поэтому целью проектирования современных систем связи является разработка алгоритмов декодирования для кодов, которые имеют низкую вычислительную сложность и высокую производительность по исправлению ошибок вблизи предела Шеннона. В настоящей работе представлены характеристики производительности простых мажоритарных итеративных методов многопорогового декодирования двоичных и недвоичных сверточных кодов для каналов с AWGN и стирающих каналов связи.

Метод многопорогового декодирования линейных кодов основан на принципах порогового декодирования [4] и запатентован ещё в 1972 году [5]. Теоретические основы и детальное описание работы кодеров сверточных и блоковых кодов и соответствующих многопороговых декодеров (МПД) представлены в [6, 7] и развиваются в настоящее время на основе оптимизационной теории [8].

Рассмотрим характеристики основных алгоритмов декодирования в канале с AWGN при кодовой скорости  $R=1/2$ , полученные в результате программной реализации схем коррекции ошибок для нескольких моделей каналов и представленные на рис. 1. Для анализа производительности (в интересах снижения количества ошибок за счет коррекции исправления) исследуемых декодеров для корректирующих кодов традиционно используются логарифмические зависимости вероятности появления битовой ошибки  $P_b(e)$  от нормализованного соотношения сигнал-шум  $E_b/N_0$  (1). На рис. 1 вертикальная линия « $C=1/2$ » соответствует энергетике канала с равными значениями кодовой скорости и пропускной способности. Пунктирная кривая, обозначенная как  $P_{0chanel}$ , отражает вероятность ошибки в рассматриваемом канале без использования кодирования.

Кривая 1 демонстрирует эффективность применяемого на практике алгоритма Виттерби (VA), декодирующего короткий код с длиной сверточного регистра  $K=7$ . Последовательная конкатенация сверточного кода, декодируемого VA, и кодов Рида-Соломона (RS), использованная в ранних стандартах цифрового телевещания, имеет производительность коррекции ошибок в виде кривой 2. Зависимость 3 отражает вероятность появления ошибки на выходе декодера низкоплотностных кодов с использованием min-sum

алгоритма, который лежит в основе стандарта DVB-S2. В работе был реализован LDPC код с  $n=64800$  бит. В стандарте мобильной связи третьего поколения вместо корректирующих сверточных кодов используются турбокоды с кодовой длиной, равной 3060 бит, декодируемых с производительностью, представленной кривой 4. Лимит, обозначенный как *Turbo*, показывает потенциальную вероятность исправления ошибок в случае использования длинных турбокодов, которые пока не могут быть практически реализованы.

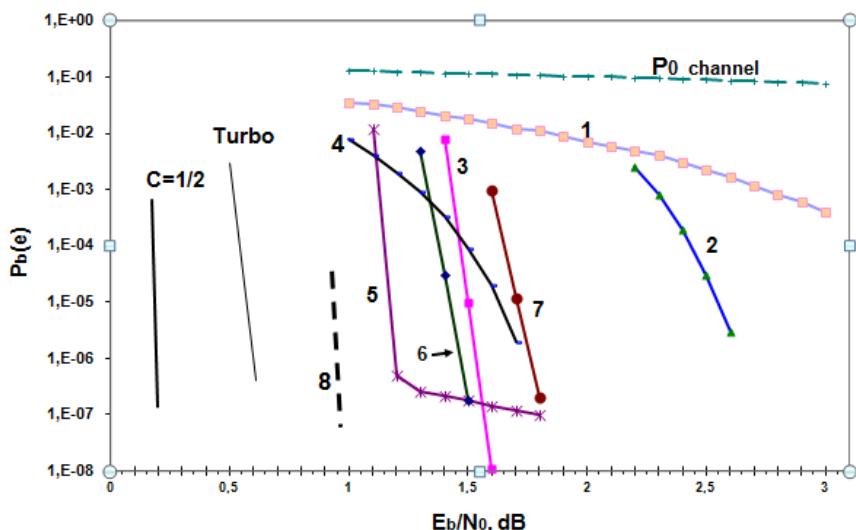


Рисунок 1 - Характеристики исследуемых алгоритмов декодирования в канале с AWGN при кодовой скорости  $R=1/2$

Эффективность исправления ошибок в случае использования МПД для сверточных кодов с кодовым расстоянием  $d=21$  представлена кривой 5 (рис. 1), из которой видно, что мажоритарный декодер демонстрирует высокие корректирующие способности в менее чем одном децибеле до предела Шеннона. При этом для исправления ошибок потребовалось 192 итерации с задержкой декодирования менее 8 Мбит.

Кривая 6 соответствует использованию того же самого МПД, но с меньшими значениями числа раундов декодирования ( $I=90$ ) и задержки декодирования (около одного миллиона бит). В этом случае область эффективной работы МПД снижается до 1,5 дБ. В области 1,8 дБ предлагаемый декодер с 40 итерациями (кривая 7) имеет лучшую эффективность декодирования, чем конструктивно более сложная схема коррекции ошибок на основе контактенации сверточного кода, декодируемого VA, и кодов Рида-Соломона (RS) (кривая 2). Каскадная схема VA\*RS имеет ещё и на  $\sim 0,6$  дБ (на 12,5%) меньшую кодовую скорость  $R$ , чем у рассматриваемых МПД алгоритмов. Дополнительное улучшение возможностей МПД при энергетике гауссовского канала менее 1,0 дБ (рис. 1, кривая 8) реально, но вычислительные затраты также могут быть весьма значительными.

Имитационная система коррекции ошибок на ПК с процессором Core-i7 на тактовой частоте ~3 ГГц позволяет определить быстродействие программного многопорогового декодера на уровне 16 Мбит/с. При параллельной реализации алгоритмов многопорогового декодирования и использовании возможностей технологии CUDA программный декодер обеспечивает высокую пропускную способность 350 Мбит/с на видеокарте NVIDIA GTX970 и 815 Мбит/с на NVIDIA GTX1080 для кода с длиной блока 1600 символов.

Рассмотрим возможности алгоритмов МПД для недвоичных (символьных) кодов, вычислительная сложность которых зависит от размера  $q$  алфавита используемых символов. В реальных системах передачи информации используются байтовые коды. На рис. 2 представлены характеристики декодеров недвоичных кодов Рида-Соломона ( $q$ RS) и символьного многопорогового декодера ( $q$ МПД) при различных размерах алфавита  $q$  ( $q=2^8$  и  $q=2^{16}$ ). По горизонтальной оси отложены вероятности ошибки на символ. По вертикальной оси откладываются вероятности ошибки декодера на символ  $P_d(s)$  для любых  $q$ . График  $P_0$  показывает вероятность ошибки в симметричном символьном канале ( $q$ СК). Кривая 1 представляет зависимость вероятности исправления ошибок для кода RS (255, 128, 128). Пунктирная кривая 2 показывает производительность декодера Судана для символьного кода с теми же параметрами. Кривая 3 демонстрирует потенциальные возможности кодов RS с кодовой длиной  $n = q-1 = 2^{16}-1=65535$ . Подобный декодер не используется на практике из-за высокой сложности реализации.

Из сравнения производительности декодеров для кодов RS и символьных кодов, декодируемых  $q$ МПД, можно сделать выводы о преимуществе последних (рис. 2). Кривая 4 (рис. 2) показывает вероятности исправления ошибок коротким символьным многопороговым декодером, обрабатывающим поток байтов со скоростью  $3 \cdot 10^5$  символов/с (показатель получен на ПК с Core-i7 и тактовой частотой 3,3 ГГц). При этом байтовый  $q$ МПД эффективнее даже короткого кода RS, декодируемого по алгоритму Судана (рис. 2, *кривая 2*).

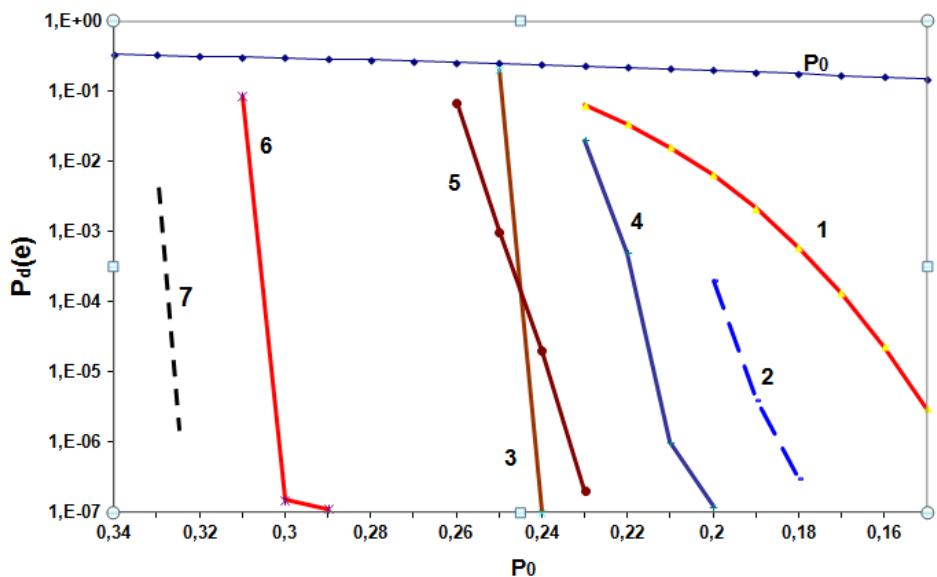


Рисунок 2 - Производительность алгоритмов декодирования в  $q$ -м симметричном канале при кодовой скорости  $R=1/2$

Применение более длинного  $q$ МПД для недвоичных блоковых и свёрточных кодов с  $q=2^{16}$  в  $q$ СК канале эффективно исправляет ошибки с вероятностью  $P_0=0,24$  и  $P_0=0,3$  (кривые 5 и 6 соответственно). Из сравнения кривых 3 и 6 видно, что декодер символьных кодов RS с  $q=2^{16}$  значительно уступает МПД с аналогичными параметрами кодов. В качестве важнейшего прикладного результата можно указать на достижение  $q$ МПД для кодов с кодовой скоростью  $R=1/2$  при  $q=2^{16}$  возможности субоптимального декодирова-

ния в  $q$ СК при вероятности ошибки  $P_0=0,325$  (рис. 2, *кривая 7*). Общее число итераций свёрточного  $q$ МПД декодера не превышало  $I=185$ . Этот результат недостижим для декодеров других практически реализуемых кодов с  $R=1/2$ .

Рассмотренные выше характеристики многопороговых декодеров двоичных и недвоичных кодов имеют высокие показатели производительности в условиях работы в каналах с AWGN, хорошо подходящих для описания каналов спутниковой и космической связи. Вместе с тем в настоящее время активно развиваются и используются системы беспроводной связи, такие как мобильная, транкинговая, ведомственная связь и др. Используемые в таких системах каналы характеризуются существенно более сложным характером ошибок, чем каналы спутниковой связи. В частности, в радиоканалах часто проявляется эффект многолучевого распространения сигнала, приводящий к сильному ослаблению мощности или замираниям сигнала, вследствие чего части кодового слова полностью стираются из-за глубокого замирания канала. Вследствие этого была поставлена задача исследования возможностей многопороговых декодеров для свёрточных кодов в каналах со стираниями.

В ходе исследований было показано, что для восстановления стираний методами МПД при  $R=1/2$  необходим свёрточный код с минимальным кодовым расстоянием  $d \geq 21$  и особенно малым группированием своих неправильных решений при декодировании. Соответствующий многопороговый алгоритм декодирования такого кода (рис. 3, *кривая 1*) успешно восстанавливает поток стёртых в канале символов с вероятностью оставшихся стираний порядка 1 на 10 миллионов символов. Таким образом, алгоритм МПД даже без использования каскадирования успешно работает при отношении  $R/C \sim 0,961$ , что является абсолютно уникальным достижением для процедур восстановления стираний. График 2 соответствует свёрточному коду с  $R=4/5$ , с которым МПД при  $P_{es} \leq 0,19$  успешно работал при  $R/C \approx 0,988$ . Кривые 3 и 4 (при  $R=1/2$  и  $R=4/5$  соответственно) на рис. 3 для гораздо более простых алгоритмов этого типа также соответствуют той области искажений (не стираний) символов в канале, в которой декодеры для кодов RS (кривые 5 и 6 соответственно) неэффективны. Кривая 5 (рис. 3) соответствует моделированию работы МПД, восстанавливающего стирания с новым кодом при  $R = 1/2$  и  $d = 25$ . Как следует из вида графика, МПД алгоритм эффективно работает в стирающем канале уже при его вероятности стираний  $P_s = 0,49$ . Это соответствует отношению  $R/C = 50/51 \sim 0,98$  и достижению вероятности ошибки (невосстановления значения символа) порядка  $3 \cdot 10^{-8}$ .

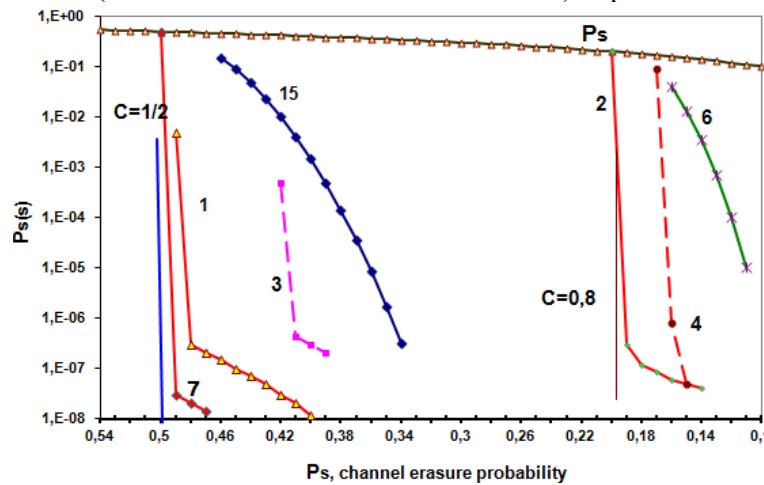


Рисунок 3 – Производительность декодеров в каналах со стираниями

Число использовавшихся итераций коррекции было при  $P_s = 0,49$  не более  $I = 198$ , а полная задержка решения декодера составила менее 2 млн символов. Объём эксперимента был выбран заведомо большим, чем этого требовали статистические критерии, и составил более  $6 \cdot 10^{10}$  информационных символов в каждой из нижних точек графика. Полученные вероятности соответствовали потенциальным возможностям кода с  $d=25$  при оптимальном декодировании.

Производительность многопорогового декодера в реализации на языке C++ близка к  $0.6 \cdot 10^5$  символов/с (Core-i7), что для столь эффективного восстановления принятых символов при  $R \approx C$  следует считать отличным результатом для стирающих каналов. Полезно отметить, что именно линейная сложность реализации и высокая пропускная способность стирающего декодера позволили быстро набрать указанный выше огромный объём статистики на обычном ПК.

Результаты имитационного моделирования схем коррекции ошибок в гауссовских каналах связи и каналах со стираниями показывают, что алгоритмы многопорогового декодирования двоичных и недвоичных сверточных кодов не имеют равных по простоте реализации и эффективности декодирования вблизи границы Шеннона, т. е. при  $R \leq C$ .

#### Список литературы

- 1 Naima S., Tarek B. F. and Fatima D. Compromise between spectral efficiency and interference cancellation in OFDM system // Proceedings of the 2017 International Conference on Engineering & MIS. - 2017. - Pp. 1-7. doi: 10.1109/ICEMIS.2017.8273009.
- 2 Platonov A. Principles of design of feedback systems working at the Shannon's boundary // Proceedings of the ICSES 2010 International Conference on Signals and Electronic Circuits, Gliwice.- 2010.- Pp. 335-338.
- 3 Chung Sae-Young, Forney G. D., Richardson T.J., and Urbanke R. On the Design of Low-Density Parity-Check Codes within 0.0045 dB of the Shannon Limit // IEEE Communications Letters.- 2001.- v.5.- Pp. 58-60.
1. Месси Дж. Пороговое декодирование // Пер. с англ. Ю.Л. Сагаловича; Под ред. Э.Л. Блоха. - М.: Мир, 1966. - 208 с.
2. А.с. СССР. Устройство для декодирования линейных сверточных кодов / В.В. Золотарёв. - № 492878 от 25.11.1975 с приоритетом от 31.07.1972.
3. Золотарёв В.В. Многопороговые декодеры и оптимизационная теория кодирования / В.В. Золотарёв, Ю.Б. Зубарев, Г.В. Овечкин / Под ред. академика РАН В.К. Левина. - М.: Горячая линия–Телеком, 2012.- 238 с.
4. Пат. Республики Казахстан №93989 от 15.10.2014. Способ мягкого многопорогового декодирования помехоустойчивого кода / В.В. Золотарёв, Г.В. Овечкин, Д.Ж. Сатыбалдина и др.
5. Золотарёв В.В. Теория кодирования как задача поиска глобального экстремума / В.В. Золотарёв, Ю.Б. Зубарев, Г.В. Овечкин // Под ред. академика РАН Н.А. Кузнецова. - 2-е изд., испр. - М.: Горячая линия–Телеком, 2018. - 228 с.
6. Золотарёв В.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: Справ. / В.В. Золотарёв, Г.В. Овечкин. - М.: Горячая линия–Телеком, 2004. - 126 с.
7. Овечкин Г.В. Помехоустойчивость приемника спутниковых сигналов DVBS2 / Г.В. Овечкин, А.В. Чикин // 11-я междунар. конф. и выставка «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA 2009». - М., 2009. - С. 578-580.
8. 11. Zolotarev V., Ovechkin G., Ovechkin P., Satybalina D., Tashatov N., Sankibayev D. High Throughput Software Multithreshold Decoder on GPU // Proceedings of the 3rd International Conference on Mathematics and Computers in Sciences and Industry (MCSI 2016), Chania, Crete, August 27-29, 2016. - p.168-171. DOI 10.1109/MCSI.2016.40.

Получено 17.04.2019

МРНТИ 45.37.31

**Т.С. Иванова**

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ (ЧРП), ЗВЕНОМ ИСТОЧНИКА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ (ИБП) И  
АКТИВНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ (АВ)**

Построена имитационная модель электрической сети, электропривода шахтной подъемной установки (ШПУ), исследованы процессы в приводе в нормальном режиме и при провалах напряжения. Приводятся результаты моделирования пусковых и стационарных режимов, режима работы активного выпрямителя с единичным значением коэффициента мощности. Для обеспечения работы привода при провалах напряжения предложен источник бесперебойного питания на основе батарей суперконденсаторов, а также быстродействующие реле. Результаты компьютерного моделирования показали работоспособность системы обнаружения и компенсации провалов напряжения с наиболее характерной длительностью 100 мс.

Электр желісінің имитациялық моделі, шахтапық көтергіш қондырының (ШКК) электр жетегі салынды, қалыпты режимде және кернеу құлау кезінде жетекшілік процестер зерттелді. Іске қосу және стационарлық режимдерді модельдеу нәтижелері, қуат коэффициентінің бірлі-жарым мәні бар белсенді түзеткіштің жұмыс режимі көтіріледі. Электр жетегінің жұмысын қамтамасыз ету үшін кернеу құлауы кезінде суперконденсаторлар батареяларының негізінде үздіксіз қоректендеру көзі, сондай-ақ жылдам әрекет өтетін реле ұсынылды. Компьютерлік үлгілеу нәтижелері 100 мс тән үзактығымен кернеу құлауын анықтау және өтеу жүйесінің жұмыс қабілеттілігін көрсетті.

A simulation model of an electrical network was constructed, the electric drive of Mine lifting installation, the processes in the drive in the normal mode and in the case of voltage failures are investigated. The are given results of simulation of starting and stationary modes, operating mode of the active rectifier with a single value of the power factor. To ensure the operation of the drive in case of voltage failures an uninterrupted power supply, based on the batteries of supercapacitors, and a high-speed relays was proposed. The results of computer simulation showed the efficiency of the system for detecting and compensating for voltage dips with the most characteristic duration of 100 ms.

**Ключевые слова:** источник бесперебойного питания, провал напряжения, суперконденсатор, активный выпрямитель, частотно регулируемый привод.

В современной электроэнергетике существует ряд важных проблем. К таким проблемам относится: несоответствие режима генерации и потребления энергии, влияющее на устойчивость энергосистем, ухудшение качества энергии из-за влияния нелинейной нагрузки на параметры напряжения в относительно слабых сетях, недостаточная надежность передачи и распределения энергии, приводящая к перерывам в электроснабжении и нарушению непрерывности технологических процессов.

Доля накопителей в конечном потреблении в странах ЕС составляет 10,3%, остальные 89,7% приходятся на традиционные энергоносители – нефть и газ. Короткие замыкания в электрических сетях неизбежны, следовательно, неизбежны и провалы напряжения у потребителей электроэнергии (рис. 1).

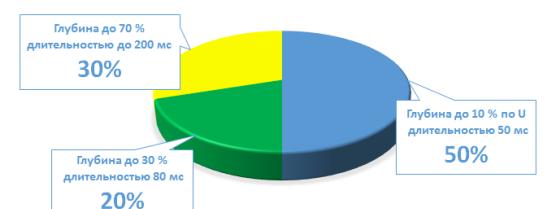


Рисунок 1 - Статистика провалов напряжений на предприятиях «Карельский Окатьш», ОАО «Сибур-ПЭТФ», Газпром, Транснефть [1]

Статистика говорит о 20-30 провалах в год, которые и приводят к дорогостоящим экономическим ущербам, даже если их длительность составляет миллисекунды [1]. Потери производства дробильно-обогатительной фабрики при отключении ВЛ № 220 20.06.2005 г. составили 4517 т. Суммарные потери от недовыпуска продукции на «Карельском Окатьше» на предприятии за 2005 г. составят около 30 млн руб. [2].

Цель работы - построить имитационную модель привода для обеспечения безаварийной работы надшахтной подъемной установки, применяемой на руднике в уранодобывающем Приаргунском горно-химическом объединении, во время провалов напряжения с помощью ИБП на базе накопителей энергии суперконденсаторов.

*Характеристики энергопотребления ЧРП.* Устройство подъема - важный элемент горно-технологического цикла по обеспечению непрерывности процесса подготовки и переработки сырья. Скорость движения подъемных сосудов в стволе достигает 6-20 м/сек (54-72 км/час). Оценка предельно допустимых значений снижения скорости движения клети производится с использованием формулы требуемой скорости вращения вала двигателя:

$$n = \frac{60 \cdot i \cdot V_{\max}}{\pi \cdot D_B}, \quad (1)$$

где  $i$  - передаточное число редуктора;  $V_{\max}$  - максимальная скорость движения сосуда;  $D_B$  - диаметр навивки окружности барабана, м. Для удовлетворения ориентировочной максимальной скорости подъема необходима частота вращения барабана. Минимально допустимое значение скорости вращения ротора для обеспечения требуемых режимных параметров приводного механизма, учитывая передаточное отношение редуктора  $i = 3,5$ :

$$n_b = 36,3 \text{ об/мин}, \quad (2)$$

$$n_{\text{дв}} = n_b \cdot i = 36,3 \cdot 3,6 = 127,05 \text{ об/мин}. \quad (3)$$

*Структура ИБП.* По производственному расчету подобран асинхронный двигатель фирмы ABB мощностью 315 кВт, напряжением питания 380 В, 50 Гц. В общем случае двухзвеный электрический преобразователь частоты состоит из выпрямителя, фильтра — промежуточного накопителя энергии, блока гашения энергии и инвертора.

*Обоснование топологии ЧРП с активным выпрямителем.* В грузоподъемных механизмах, работающих длительное время в режиме генераторного торможения, целесообразно использование двухзвенного преобразователя частоты с активным выпрямителем (AB) для рекуперации энергии в питающую сеть, которая возможна при замедляющем моменте двигателя, например во время подхода поднимаемого сосуда к поверхности. AB является энергосберегающим, позволяет получить выходное напряжение, большее, чем при использовании диодного выпрямителя, не потребляя реактивной мощности и уменьшая гармонические искажения на выходе, обеспечивая коэффициент мощности, близкий к единице.

Особенность выбранной системы управления заключается в регулировании фазы входного тока как в двигательном режиме, так и в режиме генераторного торможения. Современный AB способен обеспечивать подачу номинального уровня напряжения самостоятельно при его падении до уровня 70% от номинального. При понижении напряжения для поддержания мощности растет ток. Для IGBT-модулей существует ограничение по току, поэтому необходимо обеспечить сохранность AB и непрерывность работы системы. Устанавливаемый в распределительных щитах анализатор сети закрывает ключи AB при превышении током установленного значения, и включает режим работы ИБП.

Способ осуществления этого процесса будет показан на рис. 2, 3.

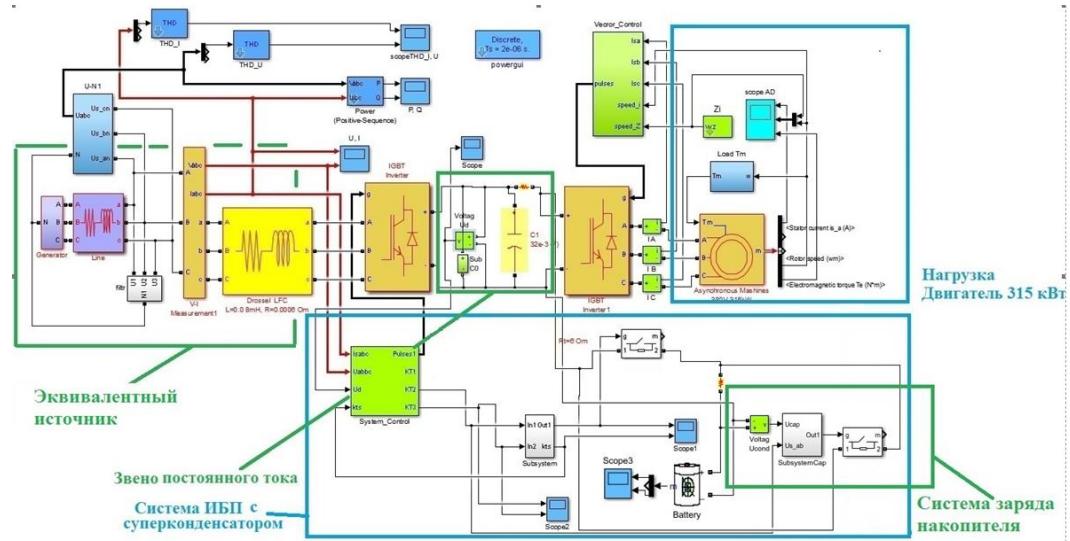


Рисунок 2 - Модель электропривода подъемной установки с асинхронным короткозамкнутым двигателем

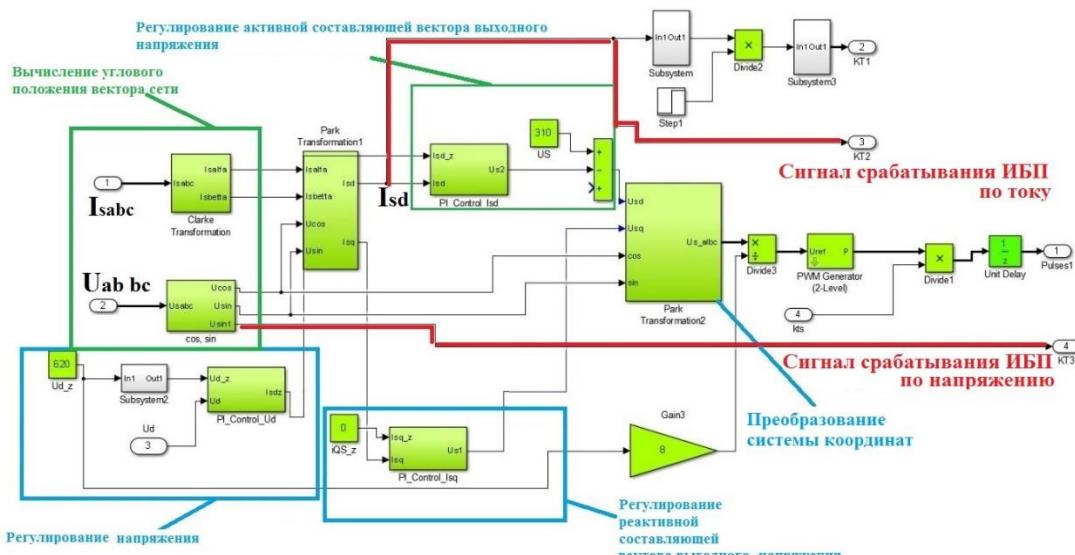


Рисунок 3 - Блок системы управления активным выпрямителем

В блоке (рис. 3): Входы - сигналы уровня фазных токов и напряжений сети переменного тока с датчиков, напряжения цепи постоянного тока и сигнал kts для запирания ключей через блок ШИМ АВ при превышении уровня тока, безопасного для работы системы.

Выходами являются: импульсы с блока ШИМ для открытия IGBT ключей АВ, КТ1 - сигнал подключения резистора, КТ2 (уровень активного тока) и КТ3 (уровень напряжения) - сигналы, подающиеся в БУ ввода ИБП.

*Расчет емкости ЗПТ.* Качество напряжения звена постоянного тока отражается на качестве формируемого выходного напряжения и как следствие, тока нагрузки.

Конденсатор, установленный в звене постоянного тока, необходим для снижения: - перенапряжений, вызванных коммутацией силовых ключей инвертора при работе на активно-индуктивную или индуктивную нагрузку, которые могут привести к отказу силовых модулей из-за превышения допустимого уровня напряжения (пробой по напряжению); - низкочастотных пульсаций напряжения, что повышает качество формируемого напряжения на выходе инвертора (рис. 4). Его емкость рассчитывается по формуле:

$$C = \frac{3}{2} \cdot \frac{I_1^2 \cdot L_{1n}}{\left( (U_{dc0} + \Delta U_{don})^2 - U_{dc0}^2 \right)} \quad (4)$$

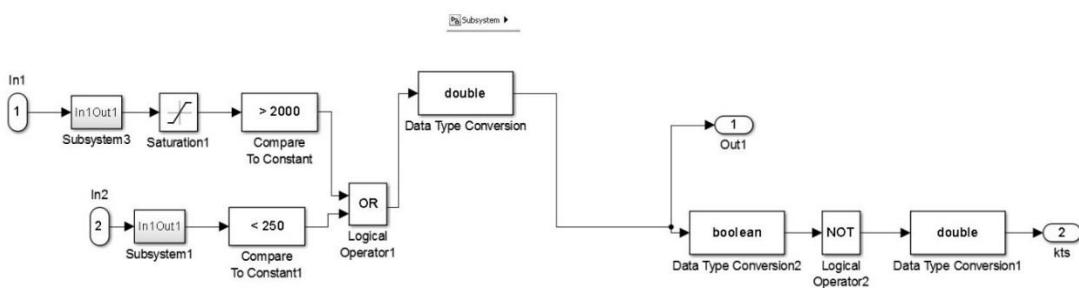


Рисунок 4 - Блок САУ подключения ИБП как ЗПТ

Логическая единица на выходе Out1 замыкает ключ подключения ИБП. Это происходит в двух случаях: когда поступает сигнал со входа активного выпрямителя (AB) об уровне напряжения ниже заданного (в данном случае моделирования ниже 250 Вольт-80% от номинального), когда модуль тока на входе AB выше тока, на который рассчитана работа IGBT-транзисторов в AB. Сигнал с выходом kts, состояния которого в противофазе с выходом Out1, отключает AB, подавая логический ноль ШИМ ключей в блоке управления AB:

$$\begin{cases} Out1 = 1 \\ kts = 0 \end{cases}.$$

Когда напряжение сети достигает минимального значения  $U_{dc} = U_{dcmin}$ , и/или конденсатор полностью зарядился, он изолируется:

$$\begin{cases} Out1 = 0 \\ kts = 1 \end{cases}.$$

Если напряжение сети в норме, при этом  $U_{dc} > U_{dcmin}$ , а напряжение конденсатора  $U_C < U_{Cmax}$ , то конденсатор заряжается.

*Устройство суперконденсатора.* Накопление заряда осуществляется фактически на молекулярном уровне. Плотность мощности в импульсе в 10 раз выше, чем плотность мощности у аккумуляторных батарей.

Техническая реализация представляет собой элементарную ячейку (элементарный суперконденсатор), состоящую из двух последовательно соединенных суперконденсаторов, причем соединение происходит по электрическим слоям в электролите, а заряд снимается с электрических слоев. Последовательное соединение суперконденсаторов реализуется

путем использования общего электролита, разделенного сепаратором, фактически являющимся баллоном для электролита (рис. 5). Поэтому допустимое рабочее напряжение элементарного суперконденсатора равно напряжению разложения электролита [3]. Высокодисперсный материал обкладок в суперконденсаторах- активированный уголь с размерами частиц 1-50 мкм, размерами активных пор 0,7 – 16 нм и удельной поверхностью до 2500 м<sup>2</sup>/г.

$$C = \epsilon \cdot 8,86 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{S}{d} \quad d \approx 10^{-10} \text{ м} \quad S \approx 2500 \frac{\text{м}^{-12}}{\text{грамм}}, \quad (5)$$

где  $\epsilon$  – относительная диэлектрическая постоянная среды;  $\epsilon_0$  [Ф/м] – диэлектрическая постоянная в вакууме  $\epsilon_0 = 8,86 * 10^{-12}$ ;  $d$  – расстояние между электрическими слоями, соответствует дебаевской длине свободного пробега электронов;  $S_{dc}$  [м<sup>2</sup>] – площадь поверхности двойного электрического слоя [4].



Рисунок 5 - Суперконденсатор

Параметры подобранной установки согласуются с нужной мощностью привода и временем провала, таким образом, в течении провала длительностью 100 мс ИБП способен питать привод мощностью 315 кВт, что показывает расчет требуемой энергии:

$$A = N \cdot t = 315000 \text{ Bm} \cdot 0,1 \text{ с} = 31,5 \text{ кДж.} \quad (6)$$

Модуль напряжением 700 В включает в себя элементарные ячейки из суперконденсаторов на 3 В, соединенных последовательно. Напряжения на конденсаторах ввиду разброса значений ёмкостей и токов утечек оказываются неравными, т.е. разбалансированными. Самый простой метод балансировки напряжений конденсаторов состоит в том, что параллельно конденсаторам подключаются шунтирующие резисторы (рис. 6).

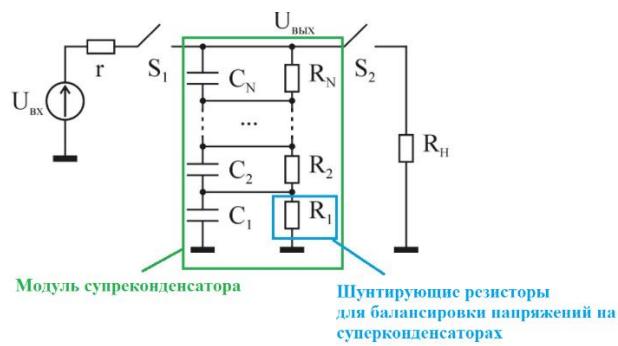


Рисунок 6 - Внутренняя структура модуля батареи суперконденсатора

*Быстродействующие средства обнаружения провалов напряжения и способы переключения привода на ИБП.* Длительность устраниемо провала напряжения в любой точке присоединения к электрическим сетям определяется выдержками времени релейной защиты и автоматики и составляет обычно несколько миллисекунд. Для переключения ИБП с режима работы от сети на режим работы от суперконденсатора используются быстродействующие реле. Время срабатывания реле составляет 2-4 мс, полное время реакции на сбой электрической сети занимает менее четверти периода синусоиды напряжения: 3-5 мс, включая время обнаружения сбоя.

В режиме работы от электрической сети напряжение фильтруется от шумов и импульсов и поступает к нагрузке. Часть мощности расходуется на зарядку ИБП или поддержание его в заряженном состоянии. Блок анализа напряжения контролирует форму и амплитуду напряжения сети. Напряжение на выходе ИБП повышается или понижается, приближаясь к номинальному значению [5].

*Имитационное моделирование в среде Matlab/Simulink и его результаты.* Имитационное моделирование длится 6 секунд, за это время будет произведен запуск двигателя, выход на номинальный режим, провал напряжения в сети источника, реакция суперконденсатора в качестве резервного источника питания, отработка возмущающего воздействия двигателем и затем остановка. Двигатель разгоняется, после этого в момент времени  $t=2$  с напряжение в сети падает до 90% от номинального, в момент времени  $t=2,5$  напряжение падает до нуля. Тогда к цепи подключается суперконденсатор как источник бесперебойного питания. Скорость на двигателе остаётся на номинальном уровне. Провал в сети источника продолжается 100 мс, когда питание восстанавливается, СУ ИБП отключает его от цепи постоянного тока, двигатель продолжает работать в номинальном режиме.

Результатом моделирования будут графики, на которых отражается действие системы ИБП с суперконденсатором. По осциллограммам (рис. 7) мы наблюдаем, как изменяется уровень напряжения на входе в активный выпрямитель (АВ).

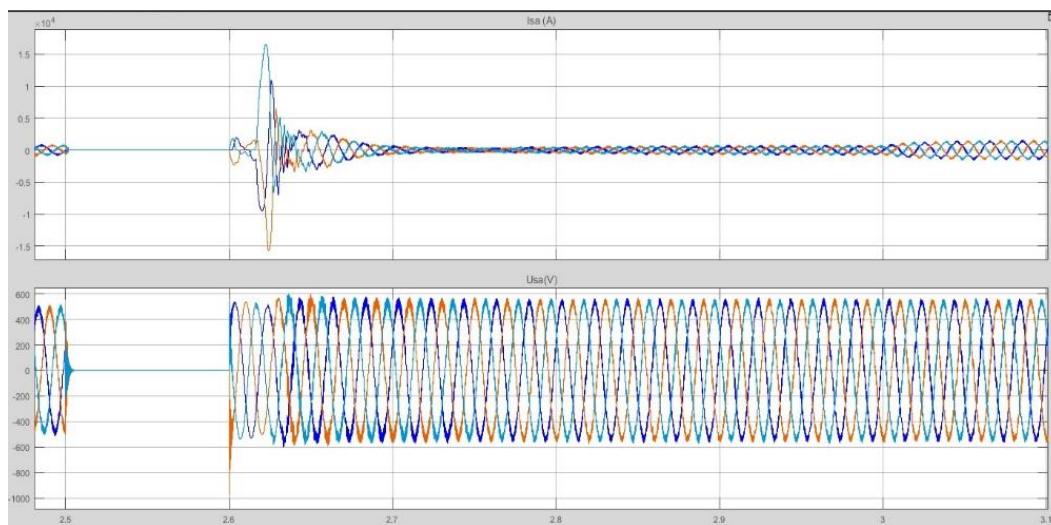


Рисунок 7 - Осенциллограмма тока и напряжения питающей сети

К моменту провала двигатель должен выйти в номинальный режим работы. Выделим участок постоянной скорости в номинальном режиме (рис. 8).

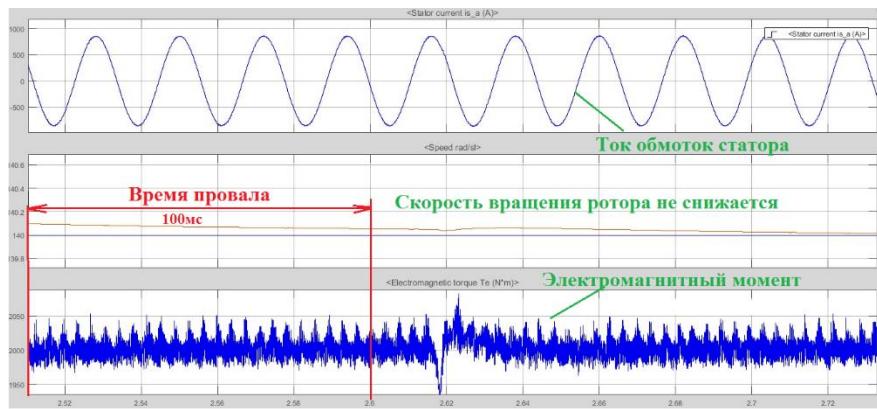


Рисунок 8 - Осциллограмма переходных процессов с вводом ИБП

Как мы видим ток, скорость, момент поддерживаются на нормальном уровне. Задержка во времени при переходе с одного источника питания на другой составляет около 3 мс. На рис. 9 представлено состояние ЦПТ.



Рисунок 9 - Поддержание уровня напряжения в ЦПТ суперконденсатором

Сравним с изменениями показателей работы двигателя без ввода накопителя в действие (рис. 10).

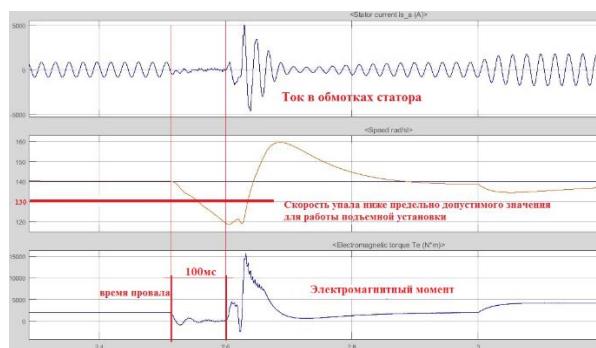


Рисунок 10 - Осциллограмма переходных процессов без ввода накопителя энергии

При провале напряжения уровень тока в сети становится выше номинального, автоматический выключатель, снабженный специальным отключающим реле максимального тока, отключает защищаемый участок цепи от повреждения воздействием высокого тока. Когда обмотки двигателя остаются обесточены на 100 мс, скорость вращения ротора двигателя падает ниже 120 об/мин, соответственно падает частота вращения барабана ПУ, что не допустимо для обеспечения ее работы согласно произведенным расчетам (смотри раздел расчета параметров работы ПУ).

В ЧПТ конденсатор, заряженный энергией, как орган, сглаживающий пульсации напряжения питания инвертора ( $U_{\max}/U_{\min}$ ), не позволяет опускаться уровню напряжения  $U_{\min}$  до уровня  $U_{3\text{МН}}$ : значение уставки срабатывания реле минимального напряжения ЧП, как правило, равно 60% от номинального напряжения (в данном случае 372 В при  $U_{\text{ном}}=620$  В).

Система управления ввода суперконденсатора в качестве ИБП реагирует на провал и поддерживает напряжение на должном уровне (600 В), в то время как отсутствие ввода ИБП приводит к падению напряжения до нуля. Напряжение звена постоянного тока в корень из трех больше напряжения сети, что и должно получится теоретически.

В заключение можно сделать следующие выводы.

По полученным графикам работы системы с ИБП и по технико-экономическим расчетам можно сделать вывод, что данная система способна обеспечить: надежность работы подъемной установки, безопасность работы в шахте и увеличить срок службы оборудования, а также сокращение эксплуатационных затрат и экономии электроэнергии. Подобрана топология ЧРП со звеном ИБП, обеспечивающим нагрузку мощностью 315 кВт в течении 100 мс. Система имеет задержку в реакции, что связано с работой электромагнитных реле.

#### Список литературы

- Пупин В.М. Электроснабжение Оскольского электрометаллургического комбината и повышение надежности электрообеспечения основных потребителей / В.М. Пупин, М.С. Егорова // Электрика. - 2008. - № 3. - С. 21-32.
- K. Denshchikov, Stacked Supercapacitor Technology – New Perspectives & Chances, Supercaps Europe // European Meeting on Supercapacitors: Development and Implementation in Energy and Transportation Techniques, Berlin, Germany, Nov.2005.
- Петрович В.П. Силовые преобразователи электрической энергии / В.П. Петрович, Н.А. Воронина, А.В. Глазачев // ТПУ. - 2009.
- Васильев Б.Ю. Электропривод. Энергетика электропривода: Учеб. для вузов // М.: Солон-пресс, 2015. – 267 с
- Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. - Санкт-Петербург: Изд-во «Корона Принт», 2001. – 320 с.
- Denshchikov K.K., Zhuk A.Z., Izmaylova M.Y., Gerasimov A.F., New Generation of Stacked Supercapacitors// First International Symposium on Enhanced Electrochemical Capacitors, Universite de Nantes, France, June 30th – July 2nd 2009.
- Колпаков А. Инверторная платформа Semicube // Новости электроники. - 2010. - № 9.
- Колб А.А. К расчету накопительных конденсаторов в системах группового питания электроприводов. – Национальный горный ун-т, 2004.
- K Pietilainen, L Harnefors, A Petersson, DC - link stabilization and voltage sag ride through of inverter drive. Industrial Electronics, IEEE Transactions on 53, 1261-1268. 2006.[8] [Электронный ресурс]. URL: <http://cons-systems.ru/>.
10. [www.maxwell.com..](http://www.maxwell.com..)
11. [www.optivolt.ru/d/33208/d/katalog-va55-keaz.pdf](http://www.optivolt.ru/d/33208/d/katalog-va55-keaz.pdf).
12. Герман-Галкин С.Г. Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink. - Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 443 с.
13. Ивкин О.Н. Применение динамических компенсаторов искажений напряжения с целью обеспечения надежности электроприводов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 10-14.

- печения надежности электроснабжения потребителей / О.Н. Ивкин, Э.А. Киреева, В.М. Пупин и др. // Главный энергетик. — 2006. — № 1. — С. 28-38.
14. Пронин М.В. Электроприводы и системы с электрическими машинами и полупроводниками преобразователя / М.В. Пронин, А.Г. Воронцов, П.Н. Калачиков и др. // Под ред. Е.А. Крутякова. — Санкт-Петербург: «Силовые машины» «Электросила», 2004. — 252 с.
15. Пронин М.В. Электроприводы и системы с электрическими машинами и полупроводниками преобразователями / М.В. Пронин, А.Г. Воронцов, П.Н. Калачиков и др. - 2007.
16. Гамазин С.И. Обеспечения надежности электроснабжения и качества электроэнергии / С.И. Гамазин, В.М. Пупин, Ю.В. Марков // Промышленная энергетика. — 2006. — № 11. — С. 51-56.

Получено 17.04.2019

ӘОЖ 629.353:519.86

**С.Ж. Кабикенов, Н.Б. Жаркенов**

Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ.

**О.Ф. Данилов**

Түмен индустриалдық университеті, Түмен қаласы, Ресей Федерациясы

**А.А. Макенов**

Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ, Өскемен қ.

**ЖОСПАРЛЫ ЖҰМЫСТАРДЫ ОРЫНДАУ ЖӘНЕ МАШИНАЛАР ПАРКІН  
ҚОЛДАНУ КОЭФФИЦИЕНТІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН КАРЬЕР АВТОТҮСІРГІЛЕРІНІҢ  
САҚТАҚ ҚОРЫН ЕСЕПТЕУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ҮЛГІСІН ҚЫРУ**

*Мақалада карьерлік автожуктөккіштердің көптеген істен шығулары мен оларды жоюға кететін үақытты азайту арқылы жөндеу жұмыстарын жүргізуіндің оңтайлы кезектілігін анықтаудың жаңа әдісі ұсынылды. Жөндеу резервін есептеу әдістемесі, сондай-ақ агрегаттар мен тораптардың, карьерлік автожуктөккіштер бөлшектерінің сенімділігін арттыру және жөндеу жүйелілігін анықтайтын әдіс әзірленді.*

*Проведенные исследования позволили предложить новое решение обеспечения работоспособности карьерных автосамосвалов, которое позволяет повысить доходную часть предприятия за счет создания резерва автосамосвалов на случай отказа действующих машин. В данной статье предложен новый метод определения оптимальной очередности выполнения ремонтных воздействий для карьерных автосамосвалов за счет наложения пересечения множества внезапных отказов и множества времени их устранения.*

*The conducted research allowed us to propose a new solution to ensure the availability of mining dump trucks, which allows us to increase the re-venue part of the enterprise by creating a reserve of dump trucks in case of failure of existing vehicles. This article proposes a new method for determining the optimal order of repair actions for mining dump trucks by overlaying the intersection of many sudden failures and a set of time to eliminate them.*

**Түйінді сөздер:** өзіншілдік, сақтық қор, оңтайлылық, әдіс, жөндеу, карьер, жұмысқа қабілеттілік, кезегі.

Мысал ретінде өз күшімен автокөлік қызметтерін орындаітын және карьер техникаларына техникалық қызмет көрсететін және жөндейтін кәсіпорындарды қарастырайық.

Кәсіпорынның жұмысын жақсартуға мүмкіндік беретін жаңа енгізулер де мүмкін:

– қолданыстағы машиналар істен шыққан кезде автотүсірілдердің сақтық қорын құрудың арқасында;

– кенет істен шығулар мен олардың алдын алу уақыттарының жиынтықтарын енгізу қылыштарына негізделген карьер автотүсірілдерінің жөндеу әсерлерін орындаудың

оңтайлы кезектілігін анықтаудың арқасында жөндеу жұмысының минималды еңбек сыйымдылығы.

Оңтайлылық критерийі ретінде кәсіпорынның дискондталған  $D$  кірісін қабылдаймыз.

Колданыстағы машиналар істен шыққан жағдайда автотүсіргілердің сақтық қорын құрудың арқасында кірісті арттырудың нұсқасын қарастырамыз. Бұл ретте автокөліктің жұмысы мен кірісті алу бұрынғы деңгейде қалады, ал шығындар сақтық қорда автомобилльдердің балансын ұстаудың ар-қасында артуы мүмкін [1].

Сақтық қор бірліктерінің оңтайлы санын және оны ұстауга кететін шығындарды анықтаймыз. Сақтық қордың саны  $i$  шамасымен,  $K$  күрделі қаржы жұмсалымымен,  $t_m$  машиналарды пайдалану уақытымен (моторесурспен),  $t_p$  сақтық қорда болу уақытымен,  $C_p$  машиналар жұмысының құнымен, дискондталған сағаттық  $D_q$  кіріспен анықталынады деп болжайық.

Онда максималды кіріске қол жеткізу үшін машиналарды ұстау мен жөндеуге кететін шығындар оларға түсетін кірістен аз болуы тиіс:

$$i \cdot (E \cdot K + C_p \cdot t_p) - D_q \cdot t < 0, \quad (1)$$

мұндағы  $E$  – «Есеп саясаты» күжатында әр күжатпен анықталынатын күрделі қаржы салымдарының тиімділігінің нормативті коэффициенті.

Түрленуді орындағанда отырып төмендегіні аламыз:

$$i < \frac{D_q t_p}{E K + C_p t_p} \quad (2)$$

$i$  саны сақтық қордың оны ұстауга ұтымды болатын санын анықтайды.

Тәуелділікке сүйене отырып, күрделі қаржы салымдары қаншалықты аз болса, біз соншалықты көп сақтық қор бірліктерін ұстай аламыз. Осыған байланысты сақтық қорда өзінің моторесурсының шегінде болатын машиналарды ұстауга кеңес беріледі.

Бұл машиналар айтарлықтай уақыт ішінде пайдаланыла алынбайды, бірақ істен шыққан машиналардың орнын қысқа уақытқа алмастыра алатын жағдайда.

Есептеулерді ынғайландыру үшін нормативтік коэффициенттерді есептеуден моторесурс уақытын есептеуге көшеміз. Онда күрделі қаржы салымдар шығыны келесі тәуелділікпен анықталынатын болады:

$$3 = \frac{iK}{t_m} t_p, \text{ ТГ} \quad (3)$$

мұндағы  $t_m$  – машиналарды пайдалану уақыты (моторесурс);  $t_p$  – машиналардың қорда болу уақыты.

Машиналарды сақтауға кететін шығындарды есепке ала отырып, (2) тәуелділігін түрлендіруге болады:

$$3 = \frac{iK}{t_m} t_p + C_q t_p, \text{ ТГ,} \quad (3)$$

мұндағы  $C_q$  – машиналарды қорда сақтауға кететін сағат шығындары.

Егер сақтау қорына кететін шығындар автомобилльдің жөндеу кезінде тұрып қалуынан болатын мүмкін шығындардан аз болған жағдайда, автомобилльдердің сақтық қорын ұстау тиімді болады. Яғни:

$$3 \leq D_q t_{\Pi}, \quad (4)$$

мұндағы  $D_q$  – техника жұмысынан болатын дискондталған сағаттық кіріс;  $t_{\Pi}$  – жөндеуде тұрып қалу уақыты.

Берілген жағдайда дисконтталған сағаттық кіріс  $D_q$  техниканың тұрып қалуынан болатын шығынға тең:

$$D_q = U_q, \quad (5)$$

Нақты шарттарда техниканың тұрып қалу ықтималдылығын есептеу қажет, онда:

$$3 = \nu U_q t_{\Pi, \text{тг}}, \quad (6)$$

мұндағы  $\nu$  – ұсынылған әдістемелер бойынша анықталынатын техниканың тұрып қалу ықтималдылығы.

(2), (3), (4), (5), (6) тәуелділіктерін есепке ала отырып, ашық түрде төмендегіні аламыз:

$$\frac{iK}{t_m} + iC_q t_p \leq \nu U_q t_{\Pi}. \quad (7)$$

Түрленуді жүргізе отырып, сақтық қордағы машиналардың санын анықтайтын тәуелділікті табамыз:

$$i \leq \frac{\nu D_q t_m t_{\Pi}}{K + t_p t_m C_q}, \text{ бірл.} \quad (8)$$

Егер де техникаға деген амортизациялық аударымдар толығымен аударылған болған жағдайда, 4.22 тәуелділігі келесі түрде құрылады:

$$i \leq \nu \times \frac{U_q}{C_q} \times \frac{t_{\Pi}}{t_p}; \quad (9)$$

$$i \leq \nu \times r_1 \times r_2 \quad (10)$$

мұндағы  $r_1 = \frac{U_q}{C_q}$ ,  $r_2 = \frac{t_{\Pi}}{t_p}$  – сойкесінше өлшемсіз коэффициенттер.

Өлшемсіз  $r_1$  коэффициенті сағаттық залалдардың техникаларды сақтық қорда сақтауға кететін сағаттық шығындарға арақатынасын сипаттайты. Ал өлшемсіз  $r_2$  коэффициенті тұрып қалу уақытының машиналардың сақтық қорда болу уақытына арақатынасын сипаттайты.

Өлшемсіз  $r_1, r_2$  коэффициенттері ұқсастық критерийлері болып табылады және нақты бір шарттарда жұмыс істеуден келесі шарттарға ауысуға мүмкіндік береді.

Мысал келтірейік. БелАЗ-7530 техникасының (220 тонна) 1 сағат тұрып қалуынан болатын зардал  $U_q = 100000$  тг. құрайды, ал сақтаудың сағаттық құны  $C_q = 1000$  тг. тең, жөндеуде тұрып қалу уақыты 25 күн, сақтау уақыты 365 күн, техниканың тұрып қалу ықтималдылығы  $\nu = 0,7$  құрайды:

$$i \leq \nu \frac{U_q}{C_q} \frac{t_{\Pi}}{t_p} = 0,7 \times \frac{100000}{1000} \times \frac{25}{365} = 4,7 \approx 5.$$

Сақтық қордағы машиналардың саны  $i = 5$  автоказіліктерге тең болуы тиіс.

Есептеулерде сақтық қордағы машина өндірушінің көрсеткіштері бойынша орташаланған. Ортақ өнімділік келесі құруы тиіс:

$$\Pi_{\Sigma} = i \Pi_{\text{ср}} \quad (11)$$

мұндағы  $\Pi_{\Sigma}$  – жынытық өнімділік;  $\Pi_{\text{ср}}$  – орташа өнімділік.

Сақтық қордың жынытығын тандау үшін тандалынған машиналардың ортақ өнімділігі таңбаланған А-А әріптерімен жөндеу қажетті машиналардың жынытығымен анықталыныу тиіс.

Алынған тәуелділіктер сақтық қордағы машиналардың санын және өнімділікті

анықтауға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта егер де техниканың жұмыс көлемі мүмкін жөндеу бөлімшелерінің өнімділігінен асатын болса, техниканың жөндеу кезектілі тапсырмасы туындаиды [2].

Жөндеуге қажетті машиналардың жиынтығын  $A$  әрпімен белгілейміз деп болжайық. Сондай-ақ әр жөндеу жұмысы  $t$  уақытымен сипатталынады. Бұл ретте анықталынбаган қатар болады:

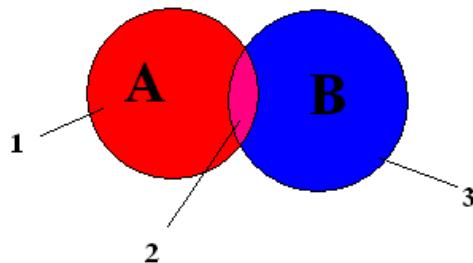
$$A\{t_1 \dots \dots \dots t_k\} \quad (12)$$

Бұл ретте

$$t_1 < t_2 \dots \dots \dots < t_k \quad (13)$$

Жөндеу бөлімшесінің мүмкіндігі мүмкін жөндеу әсерлерінің  $B$  жиынтығымен сипатталынады:

$$B\{k_1 \dots \dots \dots k_n\} \quad (14)$$



1-сурет –  $A \cap B$  жиынтықтарының қиылсысы: 1 – жөндеу қажетті машиналардың жиынтығы;

2 – карьерлік автотұсіргілердің жөндеудің оңтайлы кезектілігі; 3 – істен шығулардың алдын алу уақыты

Кәсіпорынның максималды кірісі машиналардың жөндеу жұмыстарынан көп шығуы кезінде мүмкін. Сондықтан бірінші кезекте еңбексыйымдылық көрсеткіштері  $t$  ең төмендеу машиналарды жөндеу қажет. Яғни бұл үрдісді келесі матрицамен сипаттауға болады:

$$\begin{aligned} &t_1, t_2 \dots \dots \dots t_j \\ &k_1, k_2 \dots \dots \dots k_n \end{aligned} \quad (15)$$

Бұл ретте  $j=n$  және  $j=k$ .

Кенет істен шығулар жиыны мен олардың алдын алу уақыттарының жиынтының қиылсысы карьерлік автотұсіргілердің жөндеудің оңтайлы кезектілігін береді.

Ә.Ж. Кызылбаевының диссертациялық жұмысында келесі тәуелділік берілген [3]:

$$t_2 = t_1 - t_4 \frac{U_0}{U_X}, \quad (16)$$

мұндағы  $t_1$  – істен шығулар уақыты;  $t_2$  – түйінді немесе агрегатты қаттаудың оңтайлы уақыты;  $t_4$  – автомобилдің жөндеуден кейін жұмыс қалыптына келу уақыты;  $U_X$  – сақтаудан болатын зардап;  $U_0$  – желіге шығуды құтуден болатын зардап.

Бұл тәуелділікке артық агрегаттар бөлшектері мен тетіктерін бірінші кезекті иеленуді, жөндеу кезінде оларды орнату мерзімдері мен ықтималдылықтарды есепке ала отырып, түзету енгізу қажет.

$$\begin{cases} \Pi_P = v_{\Pi} t_i \\ t_i \rightarrow \min \end{cases} \quad (17)$$

мұндағы  $\Pi_P$  – жөндеу жұмысының өнімділігі;  $v_{\Pi}$  – агрегаттар мен түйіндердің, бөлшектердің істен шығу ықтималдылығы;  $t_i$  – жөндеудегі уақыт.

(16) байланысты  $\frac{U_O}{U_X}$  шамасы бірлікке ұмтылуы тиіс. Онда сақтық қордағы машиналардың санын, сақтық қордағы машиналардың жалпы өнімділігін, істен шығу ықтималдылығына және кәсіпорынның өндірістік қуатына байланысты жөндеу жұмысының бірінші кезектілігін, сонымен қатар, артық бөлшектерді қаттаудың онтайлы уақытын анықтайтын тендеулер жүйесін аламыз.

$$\begin{cases} i \leq v \frac{U_{\Pi}}{C_{\Pi}} \frac{t_{\Pi}}{t_P}; \\ A \cap B \rightarrow \max D; \\ \Pi_{\Sigma} = i \Pi_{cp}; \\ t_2 = t_1 - t_4 \frac{U_O}{U_X}. \end{cases} \quad (18)$$

Шекті шарттар:

$$\begin{cases} \Pi_P = v_{\Pi} t_i \\ v_{\Pi} \rightarrow \max \\ t_i \rightarrow \min \end{cases} \quad (19)$$

болып табылады.

Сонымен қатар,

$$\lim \frac{U_O}{U_X} \rightarrow 1. \quad (20)$$

Алынған тәуелділіктер  $i \leq v \frac{U_{\Pi}}{C_{\Pi}} \frac{t_{\Pi}}{t_P}$  сақтық қорын, жөндеуді бастаудың  $A \cap B \rightarrow \max D$  ретін,  $\Pi_{\Sigma} = i \Pi_{cp}$  өндірістік қуатын, зардап шегі 1-ге ұмтылуы тиіс деген есеппен қаттауды бастау уақытын қолданумен сервисті ұйымастыру жұмысының жаңа тәсілін есептеуге мүмкіндік береді.

Алынған тәуелділіктер үлкен әрі ауыр жүктөрді тасуға арналған карьерлік автотұсіргілердің сенімділік көрсеткіштерін арттыру бойынша іс-шараларды құрастыруға мүмкіндік беретін тендеулер жүйесін сипаттайтыны. Бұл іс-шараларды енгізу жұмысқа қабілетті жағдайда ұстауға кететін шығындарды және сенімділік көрсеткіштерін бағалауға, карьерлік автотұсіргілерге техникалық қызмет көрсету және жөндеудің онтайлы стратегиясын анықтауға мүмкіндік береді.

Карьерлік автотұсіргілердің кенеттен істен шығуларының алдын алу бойынша мәжбүрлі жөндеу жұмыстарын сирек өткізу үшін жоғарыда берілген ұсыныстарға сүйене отырып, тұсіргілердің жұмысқа қабілеттіліктерін қамтамасыз ету жүйесінің сенімділік көрсеткіштерін есептеу әдіснамасын құру қажет.

#### Әдебиеттер тізімі

- Ибатов М.К. Материально-техническое обеспечение и экономия ресурсов на автомобильном транспорте: Учеб. пособие. – Караганда: КарПТИ, 1995. – 71 с.
- Кабикенов С.Ж. Методика сбора и обработки информации по эксплуатационной надежности деталей и узлов карьерных автосамосвалов / С.Ж. Кабикенов, Т.С. Интыков, Э.Ж.

Қабылданды 17.04.2019

MFTAA 73.31.17

М.А. Кантуреева

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ.

## ЖОЛ ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ

Бұл мақалада көлік ағынының және жеке жаяу жүргіншілер көрсеткіштерін сипаттаймыз. Сонымен қатар, көлік ағынының және жаяу жүргіншілердің тығыздығы, қозғалыс жылдамдығы, қозғалыстың кідіруі туралы қарастырылған. Адамдардың қозғалуы олардың тіршілік әрекетінің негізгі функцияларының бірі болып табылады және адамдар ағыны белгілі бір заңдылықтарға бағынады.

В данной статье рассматриваются показатели транспортного потока и пешеходных переходов. Кроме того, предусмотрена плотность транспортного потока и пешеходов, скорость движения, задержка движения. Движение людей является одной из основных функций их жизнедеятельности, поток людей подчиняется определенным законам.

*This article discusses the indicators of traffic flow and pedestrian crossings. In addition, the density of traffic and pedestrians, speed, traffic delay. The movement of people is one of the main functions of their life and the flow of people is subject to certain laws.*

**Кіттік сөздер, Қөлік ағыны, жаяу жүргіншілер, ағын, ағынның тығыздығы, адамдар қозғалысы.**

Жол қозғалысы реті туралы ақпаратты қалыптастыру кезінде бірінші кезекте көлік ағынын сипаттайтын деректер қажет. Ғылыми зерттеулер мен көлік ағындарын практикалық қадағалаудың көпжылдық тәжірибесі тиісті объективті көрсеткіштерді әзірлеуге мүмкіндік берді. Көлік ағындарын зерттеуге арналған әдістерді жетілдіру шамасына қарай жол қозғалысын ұйымдастырудың пайдаланылатын көрсеткіштер дамуын жалғастырудың [1]. Көлік ағынының қарқындылығы, оның көлік құралдарының түрлері бойынша құрамы, ағынның тығыздығы, қозғалыс жылдамдығы, қозғалыстың кідіруі негұрлым қажетті және жиі қолданылатын болып табылады. Көлік ағынының және жаяу жүргіншілер көрсеткіштерін сипаттаймыз.

Көлік ағынының қарқындылығы (қозғалыс қарқындылығы)  $N_a$  – бұл уақыт бірлігі ішінде жол қимасы арқылы өтетін көлік құралдарының саны. Қозғалыстың қарқындылығын анықтау үшін есепті уақыт кезеңі ретінде бақылаудың қойылған міндеті мен өлшеу құралдарына байланысты жыл, ай, тәулік, сағат және негұрлым қысқа уақыт аралығы (минут, секунд) қабылданады. Көше-жол желісінде қозғалыс ең жоғары мөлшерге жететін жекелеген участекер мен аймақтарды бөлуге болады, ал басқа участекерде ол бірнеше есе аз. Мұндай кеңістіктік әркелкілік ең алдымен жүк және жолаушы құрайтын пункттердің орналасуының және олардың тартылу орындарының әркелкілігін көрсетеді. Жыл, ай, тәулік және тіпті сағат ішінде көлік ағындарының біркелкі еместігі қозғалысты ұйымдастыру проблемасында маңызды мәнге ие болады. Көлік ағындарының уақытша сәйкестігі  $K_N$  коэффициентімен сипатталуы мүмкін. Бұл коэффициент қозғалыстың жылдық, тәуліктік және сағаттық әркелкілігі үшін есептелуі мүмкін. Біркелкі емес қозғалыс қарқындылығының осы уақыт бөлігіне келетін үлесі

ретінде немесе байқалатын қарқындылықтың бірдей уақыт аралығындағы орташаға қатынасы ретінде көрсетілуі мүмкін.

$$\text{Жылдық әркелкілік коэффициенті: } K_{HJ} = \frac{12N_{aa}}{N_{ajc}} \quad (1)$$

мұндағы 12 – жылдағы айлар саны;  $N_{aa}$  – бір айдағы салыстырмалы қозғалыс қарқындылығы, авт./ай;  $N_{ajc}$  – жыл ішіндегі қозғалыстың жынтық қарқындылығы, авт./жыл.

$$\text{Тәуліктік әркелкілік коэффициенті: } K_{HT} = \frac{24N_{ac}}{N_{am}} \quad (2)$$

мұндағы 24 – тәуліктегі сағат саны;  $N_{ac}$  – салыстырмалы сағаттағы қозғалыс қарқындылығы, авт./сағ;  $N_{am}$  – тәулік ішіндегі қозғалыстың жынтық қарқындылығы, авт./тәу. Көлік ағындарының әркелкілігі салдарынан жол қозғалысы бойынша окулықтарда қозғалыс қарқындылығына қараганда қозғалыс көлемі ұғымын уақыт бойынша жиі қолданатынын атап өту қажет. Қозғалыс көлемі деп белгіленген кезеңде үздіксіз бақылаумен алынған, қабылданған уақыт бірлігі ішінде жолда жүріп өткен автомобильдердің нақты санын айтамыз.

Көлік ағынның бірқалыпты болмауы уақыт ішінде ғана емес, кеңістікте де, яғни жолдың ұзындығы мен бағыттары бойынша да көрінеді. Көлік немесе жаяу жүргіншілер ағынның кеңістіктік біркелкі еместігін сипаттау үшін жекелеген көшелер мен жол участекері бойынша сәйкес еместіктің тиісті коэффициенттері де белгіленуі мүмкін [1,2]. Қозғалысты ұйымдастыру тәжірибесінде көлік құралдары мен жаяу жүргіншілер қозғалысының қарқындылығы олардың сағаттық мәндерімен сипатталады. Бұл ретте бұл көрсеткіш ең үлкен мәнге ие, өйткені дәл осы сағаттарда қозғалысты ұйымдастырудың аса күрделі міндеттері туындаиды. Алайда, аптаның, айдың және жылдың әр түрлі күндері қарбалас сағаттарында (часы пик) қозғалыс қарқындылығы бірдей емес болуы мүмкін екенін ескеру қажет. Көлік құралдары қозғалысының қарқындылығы неғұрлым жоғары деңгейдегі жолдарда қозғалыстың біркелкі еместігі және ең қарбалас кезеңдердегі қарқындылығы тұрақты. Қарама-қарсы қозғалысы бар екі жолақты жолдар үшін жалпы қарқындылық әдетте қарама-қарсы ағындардың жынтық мәнімен сипатталады, өйткені қозғалыс жағдайлары және, атап айтқанда, басып озу мүмкіндігі екі жолақтың тиелуімен анықталады. Егер жолдың бөлү жолағы болса және қарсы ағындар бір-бірінен оқшауланған болса, онда қарсы бағыттардың жынтық қарқындылығы қозғалыс шарттарын анықтамайды, ал жолдың нысандары ретіндегі жынтық жұмысын ғана сипаттайты. Мұндай жолдарда әр бағытта қозғалыс қарқындылығы маңызды [2]. Қоғын жағдайларда, әсіресе қалалық жағдайларда қозғалысты реттеу мәселелерін шешу кезінде осы бағыт бойынша ағынның жынтық қарқындылығы ғана емес, сонымен қатар бір жолаққа келетін қарқындылығы немесе қозғалыстың меншікті қарқындылығы  $M_a$  – деп аталатын мәні бар. Егер жолақтар бойынша қозғалыс қарқындылығын нақты бөлү белгілі болса және ол біркелкі емес болса, онда  $M_a$  – есептік қарқындылығы ретінде ең жүктелген жолақтар бойынша қозғалыс қарқындылығының қабылдауға болады. Бір жолақтан кейін келе жатқан көлік құралдарының арасындағы  $t_i$  – уақыт аралығы қозғалыстың көрі қарқындылығының көрсеткіші болып табылады.  $E(t_i)$  – математикалық

күту  $E(t_i) = 3600/M_a$  тәуелділігімен анықталады. Егер жол жолағы бойынша бір-бірінің артынан келе жатқан автомобилдердің арасындағы  $t_i$  - аралық 10 с артық болса, онда олардың өзара әсері салыстырмалы түрде әлсіз болып табылады және қозғалыс жағдайлары «еркін» деп сипатталады. Көлік ағынының құрамы әртүрлі көлік құралдарының қатынасымен сипатталады. Бұл көрсеткіш жол қозғалысының барлық параметрлеріне айтарлықтай әсер етеді. Сонымен қатар көлік ағынының құрамы осы өнірдегі автотұрақтардың жалпы құрамын елеулі дәрежеде көрсетеді. Мәселен, батыс елдерінің жолдарында жеңіл автомобилдер басым, олар автотұрақтың жалпы санының 80-90 % құрайды. Біздің елімізде көптеген қалалық және қала сыртындағы жолдарда жүк көліктегі мен автобустардың үлесі әзірге жоғары. Біздің елімізде ірі қалаларда автомобилдер үлесінің ұлғаюына қарай көлік ағыныда ұлғайды. Көлік ағынының құрамы жолдардың тиелуіне ( қозғалыстың тығыздығына) әсер етеді, бұл ең алдымен автомобилдердің габариттік өлшемдері елеулі айырмашылықпен түсіндіріледі. Көлік ағымында қозғалыс кезінде тек статистикалық ғана емес, сонымен қатар көлік құралдарының тежеуіш касиеттеріне және жүргізушінің реакциясы уақытына байланысты автомобилдің динамикалық өлшеміндегі айырмашылық маңызды [3]. Автокөліктің нақты динамикалық өлшемі де, басқаруға ыңғайлылығына, оның маневрлігіне байланысты, ол жүргізуі таңдаған қашықтыққа әсер етеді.

Көлік ағынының тығыздығы  $q_a$  – жол жолағындағы қозғалыстың тығыздығын анықтайтын кеңістіктік сипаттама болып табылады. Оны жол ұзындығының 1 км-ге келетін көлік құралдарының санымен өлшемді. Шектеулі тығыздық жолақта бір-біріне жақын орналасқан автомобилдер колонналарының қозғалыссыз жағдайында қол жеткізіледі. Қазіргі заманғы жеңіл автомобилдер үшін теориялық жағынан мұндай  $q_{max}$  шекті мән 200 авт./км жуық. Бұл жүргізушілердің алдыңғы көлікке жақындаған келе алмайтындығымен түсіндіріледі. Әрине, шекті тығыздық кезінде тіпті автомобилдерді автоматты басқару кезінде де қозғалыс мүмкін емес, өйткені қауіпсіздік дистанциясы жоқ.  $q_{max}$  тығыздығы сонымен бірге құрылымды сипаттайтын көрсеткіш ретінде маңызды (көлік ағынының құрамы). Бақылаулар шағын класты автомобилдердің тәж қозғалысы кезінде ағынның тығыздығы 100 авт./км жетуі мүмкін екенін көрсетеді. Ағынның тығыздық көрсеткішін пайдалану кезінде көлік құралдарының әртүрлі типтеріне келтіру  $q_a$  коэффициентін ескеру қажет, өйткені олай болмаған жағдайда құрамы бойынша әртүрлі ағындар үшін салыстыру, дұрыс емес нәтижелерге әкелуі мүмкін.

Ағынның тығыздығы аз болған сайын, жүргізушілер өздерін еркін сезінеді, олар басатын жылдамдық соғұрлым жоғары болады. Қозғалыс жылдамдығы маңызды көрсеткіш болып табылады, өйткені жол қозғалысының мақсатты функциясын білдіреді.

Хабарлама жылдамдығы  $V_x$  жүктегі мен жолаушыларды жеткізу жылдамдығының өлшеуіші болып табылады және хабарлама нүктелері арасындағы қашықтықтың көлік құралының жолда болу уақытына (хабарлама уақытына) қатынасы ретінде айқындалады. Бұл көрсеткіш жекелеген жол учаскелері бойынша жылдамдықты сипаттау үшін қолданылады.

Қозғалыс қарқыны хабарламаның кері жылдамдығының көрсеткіші болып табылады және километрдегі жол ұзындығының бірлігін женуге кететін секундпен өлшенеді. Бұл өлшеуіш жолаушылар мен жүктегі әртүрлі қашықтыққа жеткізу уақытын есептеу үшін

өте ыңғайлы. Көлік құралының жедел жылдамдығы және тиісінше хабарлама жылдамдығы көптеген факторларға байланысты және елеулі ауыткуларға ұшырайды.

Әрбір жағдайда жылдамдықты таңдауға жүргізушінің біліктілігі, психофизиологиялық жағдайы, қозғалыс мақсаты әсер етеді. Бірнеше ғалымдардың жүргізілген зерттеулері бойынша тәжірибесі мол жоғары білікті жүргізушілерде автомобиль қозғалысының орташа жылдамдығы орташа мәннен  $\pm 10\%$  шегінде ауыткуы мүмкін. Ал тәжірибесі аз жүргізушілерде бұл айырмашылық көп.

Жаяу жүргіншілер ағыны. Жаяу жүргіншілер ағынын сипаттайтын негізгі көрсеткіштерге олардың қарқындылығы, тығыздығы және жылдамдығы жатады. Жаяу жүргіншілер ағынының  $N_{new}$  қарқындылығы көше немесе жолдың функционалдық мақсатына және оларда орналасқан тартылыс объектілеріне байланысты өте кең шектеулерде ауытқиды. Жаяу жүргіншілер қозғалысының аса жоғары қарқындылығы ірі қалалардың басты және сауда көшелерінде, сондай-ақ көлік қозғалысы (вокзалдар, метрополитен станциялары) аймақында байқалады. Үлкен қалалық магистральдар бойындағы екі бағытта жаяу жүргіншілер ағынының көлемі қарбалас уақытта (час пик) 7-8 мың адамға жетуі мүмкін.

Жаяу жүргіншілер ағындары үшін тәулік ішінде едәуір уақыт біркелкі болмауы мүмкін [4]. Ол көшениң сол немесе басқа учаскесінің функционалдық мәніне және онда жаяу жүргіншілердің тартылу объектілерінің орналасуына байланысты. Алайда жол қозғалысын ұйымдастыру жөніндегі нақты шешімдерді әзірлеу үшін деректер мықты бақылаулармен алынуы тиіс. Жаяу жүргіншілер ағынының  $q_{new}$  тығыздығы қарқындылық сияқты кең шектеулерде ауытқиды және жаяу жүргіншілер қозғалысының жылдамдығы мен жаяу жүргіншілер жолдарының өткізу қабілетіне әсер етеді. Көлік ағыны сияқты жаяу жүргіншілер ағынының шекті тығыздығы қозғалатын объектілердің тиісті габариттік өлшемдерімен анықталады. Мысалы, статикалық жағдайда адам жазғы киімде  $0,1-0,2 \text{ м}^2$ , қысқы киімде  $-0,25 \text{ м}^2$ , ал қол жүгі болған жағдайда  $-0,5 \text{ м}^2$  орын алады. Тығыздығына байланысты бос және бос қозғалыстар (еркін және бос қозғалыс жағдайлары) ажыратылады. Бос жағдайларда ( $q_{new} < 0,5 \text{ адам/м}^2$ ) әрбір адам кез келген уақытта өз қозғалысының жылдамдығы мен бағытын өзгерте алады. Қысылған жағдайларда ( $q_{new} > 0,5 \text{ адам/м}^2$ ) ағынның тығыздығы адамдардың қозғалыс режимін және еркін қозғалуын шектейді. Бақылау еркін қозғалыс үшін лекте қозғалатын адамдар арасындағы қашықтық 2 м-ге дейін жетуі тиіс екендігін көрсетеді. Оны шартты түрде «жаяу жүргіншінің динамикалық габариті» деп атауга болады. Қатты кедергілер 0,7-0,8 адам/ $\text{м}^2$  кезінде байқалады, ал 4-5 адам/ $\text{м}^2$  кезінде қозғалысты толық қысылған деп санау керек. Бұл ағын әлі баяу қозғалысты жалғастыра алатын тығыздықтың шекті мәні.

Жаяу жүргіншілер ағынының  $V_{new}$  жылдамдығы жаяу жүргіншілердің ағында қозғалу жылдамдығымен байланысты. Адамның қозғалыс жылдамдығы жайбарақат қадаммен орташа есеппен  $0,5\ldots1,5 \text{ м/с}$  шегінде ауытқиды сонымен қатар, адамның жасына және денсаулық жағдайына, қозғалыс құмылына, жол жағдайларына (тегістігіне, бойлық еністігіне, тайғақ), қоршаган органдардың жағдайына (жауын-шашынына, ауа температурасына) байланысты болады. Ұзындығы кең өткелдерде жаяу жүргіншілердің жылдамдығы жоғары. Бұл жерде көлік ағыны мен қақтығыс қаупінің өсүнің психологиялық әсері байқалады [5]. Жаяу жүргіншілердің қозғалысы да көрсеткішпен, кері жылдамдық-секундына өлшенетін, метрге (с/м) болінген қозғалыс қарқынымен сипатталуы мүмкін. Қарқынды жаяу жүргіншілер ағыны, адамдардың қозғалыс жылдамдығына оның тығыздығы айтарлықтай әсер етеді. Тығыздық жоғары болған

сайын, жаяу жүргіншілер ағынының жылдамдығының төмендеуіне ықпал ететін өзара кедергілер байқалады.

Адамдардың қозғалуы олардың тіршілік әрекетінің негізгі функцияларының бірі болып табылады. Ол олардың жұмыс және тұрғылықты орнымен анықталады. Көптеген адамдардың қозғалуы уақыт бойынша тұрақты болып табылады және салыстырмалы кеңістіктік-уақытша тұрақтылығы бар. Адамдар ағыны белгілі бір заңдылықтарға бағынады.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Пугачев И.И. Организация и безопасность движения: учеб. пособие. - Хабаровск: Изд-во Хабар, гос. техн. ун-та, 2004. - 232 с.
2. Пугачев И.Н. Организация движения автомобильного транспорта в городах: учеб. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2005. - 196 с.
3. Пугачев И.Н. Дорожная и психофизиологическая экспертизы дорожно-транспортных происшествий: учеб. пособие / И.Н. Пугачев, П.А. Пегин. - Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та 2008. – 106 с.
4. Кузьменко В.Н. Повышение безопасности дорожного движения на пешеходном переходе с учетом пешеходного и велосипедного движения / В.Н. Кузьменко, А.С. Полховская // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2013. – № 4. – С. 28-36.
5. Решетова Е.М. Размышления на тему пешеходных переходов в Москве. – М.: Изд-во НИУ ВШЭ, 2012. – 5 с.

Қабылданды 17.04.2019

МРНТИ 50.01.11

**И.Б. Карымсакова, Н.Ф. Денисова**

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

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИНОМОВ ЭРМИТА ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ НАПЫЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМ РОБОТОМ ИМПЛАНТОВ ПРИ ПОМОЩИ ВИРТУАЛЬНОГО СИМУЛЯТОРА ROBOGUIDE

*В данной статье рассматривается проблема моделирования напыления при помощи виртуального симулятора Roboguide V6.40 системы построения движений для нанесения биосовместимых покрытий на имплтанты на базе манипуляционного робота Fanuc LR Mate 200 id. Для сканирования импланта и построения его пространственной модели используется 3D-сканер SCAN 3D UNIVERSE. Для построения программных движений манипулятора с учетом скорости движения, предлагается использовать полиномы Эрмита четвертого порядка.*

*Бұл мақалада Roboguide V6.40 қозғалыс құру жүйесі кемегімен Fanuc LR Mate 200 id манипуляциялық роботы негізінде импланттарға биоүйлесімді төсем салу үшін бұркөуді модельдеу мәселеі қарастырылады. Имплантты сканерлеу және оның кеңістіктік моделін құру үшін SCAN 3D UNIVERSE 3D сканері қолданылады. Қозғалыстың жылдамдығын ескеретін манипулятордың программалық қозғалыстарын құру үшін Эрмиттің төртінші ретті полиномдары қолданылады.*

*This article deals with the problem of simulating sputtering with the help of a virtual simulator Roboguide V6.40 of a system for constructing movements for applying biocompatible coatings on implants based on a Fanuc LR Mate 200 id manipulation robot. For scanning the implant and building its spatial model, the SCAN 3D UNIVERSE 3D scanner is used. For the construction of software motions of the manipulator, taking into account the speed of movement, it is proposed to use Hermite polynomials of the fourth order.*

**Ключевые слова:** имплант, плазменное напыление, виртуальный симулятор робота, сплайн, полином Эрмита четвертого порядка.

Разработка имплантов является трудоемким процессом, который требует выполнения

условия соответствия покрытия имплантата для его совместимости с человеческим организмом. Для точности нанесения покрытия использование роботов является оптимальным решением.

Целью данной статьи является разработка программного управления манипулятором робота Fanuc LR Mate 200 id при помощи виртуального симулятора Roboguide с учетом скорости движения для решения проблемы покрытия поверхности имплантов.

Объектом исследования являются имплантаты, которые используются для замены полностью или частично поврежденных органов человека. Проблема противодействия отторжению и способствования приживаемости имплантата на современном уровне развития решается при помощи покрытия имплантатов биосовместимым материалом [1-5].

Одним из эффективных способов создания имплантатов является сканирование поврежденной кости человека и создание ее 3D-модели. С этой целью будем использовать 3D сканер SCAN 3D UNIVERSE, который восстанавливает соответствующие размеры, в последующем по этим размерам в программе Geomagic Design X разрабатывается 3D-модель имплантата [6].

Для построения программного движения манипуляционного робота Fanuc LR Mate 200 id полученная 3D-модель имплантата загружается в виртуальный симулятор Roboguide V6.40.

Для проведения эксперимента напыления был отобран имплант тазобедренного сустава (рис. 1).



Рисунок 1 - Имплант тазобедренного сустава

Имплант закрепляется в захвате манипуляционного робота, который должен перемещать и вращать имплант для оптимального напыления на поверхность. Для качественного нанесения покрытия необходимо выполнение следующих условий:

- плазмотрон напыляет ламинарной плазменной струей порошок металла, находится на расстоянии около 150 мм от объекта под углом 90°;
- диаметр напыления должен составлять 10-25 мм (отметим, что чем пористее будет поверхность, тем, по заключениям специалистов, лучше имплант приживается в организме человека), толщина покрытия 0,05...1,0 мм;
- допустимые потери порошка металла при напылении должны составлять 10-15%;
- используемый материал – титан VT6 [7, 8].

Для составления математической модели движения будем использовать следующие предположения. Пусть на этапе планирования траектории движения получена некоторая конечная последовательность точек – значений обобщенных координат. Требуется по этой последовательности построить непрерывную по времени зависимость, которая в дискретные моменты времени совпадает с заданными значениями. Другими словами – необходимо построить интерполяционный полином, который в определенные известные

моменты времени будет совпадать со значениями в узлах. Для решения проблемы эффективного нанесения биосовместимого покрытия необходимо потребовать, чтобы первая производная данного интерполяционного полинома в узлах сетки совпадала с заданными значениями. С технической точки зрения это означает, что требуется прохождение через заданные узлы и с заданной скоростью в этих узлах.

Для составления математической модели движения необходимо определить начальные условия.

Снимаются координаты положения робота по заданной траектории движения:

$$\begin{pmatrix} (JT_1 & \dots & JT_6)_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ (JT_1 & \dots & JT_6)_n \end{pmatrix},$$

где  $JT_n$ -координаты точек робота.

Задаются скорости движения робота

$$\begin{pmatrix} (V_1 & \dots & V_6)_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ (V_1 & \dots & V_6)_n \end{pmatrix},$$

где  $V_n$ -скорость движения робота.

Затем с помощью этих координат и значений скорости строится полином Эрмита, по которому определяется траектория движения робота.

Рассмотрим применение метода сплайнов для решения нашей задачи. Пусть  $t_1, t_2, \dots, t_n$ - заданные интервалы времени (узлы), а  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ - значение интерполирующей функции в этих узлах, т.е.  $\theta(t_i) = \theta_i, i = \overline{1, n}$ ,  $\theta$ - одна из обобщенных координат.

На рис. 2 изображена временная ось и кубический полином.

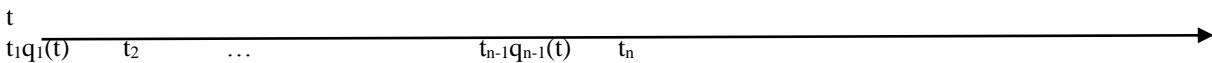


Рисунок 2 - Кубический полином на временной оси

$$q_i(t), i = \overline{1, n-1}.$$

Тогда

$$Q(q, t) \stackrel{\Delta}{=} q_i(t) = \sum_{l=0}^3 a_i^{(l)} (t_{i+1} - t)^l, \quad (1)$$

т.е. полином  $Q$  на каждом из интервалов  $[t_i, t_{i+1}]$  равен  $q_i(t)$ .

Полиномы  $q_i(t)$  непрерывны на  $[t_i, t_{i+1}]$  вместе со своими первой и второй производными, т.е.  $q_i(t) \in C^2[t_i, t_{i+1}]$ .

Для однозначного определения коэффициентов  $a_i^{(l)}$ , число которых равно  $4(n-1)$ , необходимо задать столько же условий. Ими являются:

А. Требование прохождения полинома через заданные значения в узлах (n).

Б. Непрерывность полинома  $Q$  во внутренних узлах (n-2).

С. Непрерывность первой и второй производных во внутренних узлах 2(n-2).

Таким образом, необходимо задать еще два условия для однозначного определения коэффициентов  $a_i^{(l)}$ . Ими могут, например, быть:

$$\dot{q}_l(t_1) = \dot{\theta}(t_1); \dot{q}_{n-1}(t_n) = \dot{\theta}(t_n); \quad (2)$$

$$\ddot{q}(t_1) = \ddot{\theta}(t_1); \ddot{q}_{n-1}(t_n) = \ddot{\theta}(t_n); \quad (3)$$

$$q_1^{(r)}(t_1) = q_{n-1}^{(r)}(t_n), r = 1, 2. \quad (4)$$

Последнее условие задается, если  $\theta$ - периодическая функция с периодом  $t_n - t_1$ .

Могут быть заданы и другие условия.

Запишем полином  $Q(q, t_i)$  и вычислим его производные:

$$\begin{aligned} q_i(t) &= a_i^{(0)} + a_i^{(1)}(t_{i+1} - t) + a_i^{(2)}(t_{i+1} - t)^2 + a_i^{(3)}(t_{i+1} - t)^3; \\ \dot{q}_i(t) &= -a_i^{(1)} - 2a_i^{(2)}(t_{i+1} - t) - 3a_i^{(3)}(t_{i+1} - t)^2; \ddot{q}_i(t) = 2a_i^{(2)} + 6a_i^{(3)}(t_{i+1} - t). \end{aligned}$$

Тогда условия В, С приводят к следующим соотношениям между искомыми коэффициентами на соседних интервалах

$$\begin{cases} a_{i+1}^{(1)}h_{i+1} + a_{i+1}^{(2)}h_{i+1}^2 + a_{i+1}^{(3)}h_{i+1}^3 = \theta_i - \theta_{i+1} \\ a_{i+1}^{(1)} + 2a_{i+1}^{(2)}h_{i+1} + 3a_{i+1}^{(3)}h_{i+1}^2 = a_i^{(1)} \\ a_{i+1}^{(2)} + 3a_{i+1}^{(3)}h_{i+1} = a_i^{(2)} \end{cases}, \quad (5)$$

где  $h_{i+1} = t_{i+2} - t_{i+1}$ .

Система (5) вместе с условиями  $q_1(t_1) = \theta_1$  и 2 (либо 3, либо 4) образуют линейную систему алгебраических уравнений, которая всегда имеет решение. Оно находится одним из методов линейной алгебры, чаще всего методом прогонки ввиду специфики матрицы системы. Для построения сплайна требуется  $16n$  арифметических операций в непериодическом случае и  $22n$  в периодическом.

Следует, однако, отметить, что требование гладкости функции и ее производных однозначно определяет значение последних. В этом случае для однозначного определения кубического сплайна достаточно задать условия в узлах типа

$$\begin{aligned} q_i(t_i) &= \theta_i; q_i(t_{i+1}) = \theta_{i+1}; \\ \dot{q}_i(t_i) &= v_i; \dot{q}_i(t_{i+1}) = v_{i+1}, i = 1, n - 1. \end{aligned} \quad (6)$$

Сплайны, удовлетворяющие условиям (6), называются Эрмитовыми. Решая систему (6), получим

$$q_i(t) = \varphi_1(t)\theta_i + \varphi_2(t)\theta_{i+1} + \varphi_3(t)h_iv_i + \varphi_4(t)h_iv_{i+1}. \quad (7)$$

где  $\varphi_1(t) = (1-t)^2(1+2t)$ ;  $\varphi_2(t) = t^2(3-2t)$ ;

$$\varphi_3(t) = t(1-t)^2; \varphi_4(t) = -t^2(1-t); t = \frac{x-x_i}{h_i}$$

Эрмитов кубический сплайн не удовлетворяет требованию непрерывности второй производной в узлах сетки. УстраниТЬ этот недостаток можно разными путями:

1. Считать узлы интерполяции неизвестными и находить их в процессе решения.
2. Ввести на каждом интервале два дополнительных узла.
3. Повысить порядок сплайна.

Первый путь наиболее естественный с точки зрения постановки задачи. Однако его реализация сводится к решению нелинейной системы алгебраических уравнений со всеми вытекающими отсюда трудностями. Поэтому применим третий путь – интерполяцию сплайнами четвертого порядка.

Необходимо построить функцию четвертого порядка, непрерывную на интервале  $[t_1, t_n]$  вместе со своими первой и второй производными, проходящую через заданные узлы с заданной скоростью, т.е. удовлетворяющую условиям:

$$q_i(t_{i+1}) = \theta_{i+1}, \quad (8)$$

$$\dot{q}_i(t_{i+1}) = v_{i+1}, \quad (9)$$

$$q_i(t_{i+1}) = q_{i+1}(t_{i+1}), \quad (10)$$

$$\dot{q}_i(t_{i+1}) = \dot{q}_{i+1}(t_{i+1}), \quad (11)$$

$$\ddot{q}_i(t_{i+1}) = \ddot{q}_{i+1}(t_{i+1}). \quad (12)$$

Добавим условия на концах интервала  $t_1$  и  $t_n$ :

$$q_1(t_1) = \theta_1, \quad q_{n-1}(t_n) = \theta_n. \quad (13)$$

Сплайн будем искать в виде полинома [6-8]:

$$Q(q, t_i) \stackrel{\Delta}{=} q_i(t) = \sum_{l=0}^4 a_i^{(l)} (t_{i+1} - t)^l, \quad i = \overline{1, n-1}. \quad (14)$$

В предыдущих работах был построен полином Эрмита третьего порядка. Теперь смо-делируем решение этой задачи с полиномом Эрмита четвертого порядка в среде Matlab. В среде Matlab существуют встроенные функции для построения полиномов, в том числе полинома Эрмита, также функции для нахождения коэффициентов полинома [9]. Смоде-лируем построение траектории движения по предложенной схеме. Построим функцию, которая находит pp-представление для полинома Эрмита четвертого порядка в Matlab. Функция, которая находит pp-представление для полинома Эрмита четвертого порядка в Matlab, может выглядеть следующим образом:

```
function p=ermit(t,J,v);
n=length(t);
a=zeros(n-1,5);
h(1)=t(2)-t(1);
a(1,3)=(3/h(1))*((2*(J(1)-J(2))/h(1))+v(1)+v(2));
a(1,4)=(1/(h(1))^2)*((8*(J(2)-J(1))/h(1))-(3*v(2)+5*v(1)));
a(1,5)=(1/(h(1))^3)*((3*(J(1)-J(2))/h(1))+v(2)+2*v(1));
for i=2:n-1
h(i)=t(i+1)-t(i);
a(i,3)=a(i-1,3)+(3*(v(i+1)-v(i))/h(i))+6*(J(i)-J(i+1))/(h(i))^2;
a(i,4)=-(2*a(i-1,3)/h(i))+(5*(v(i+1)-v(i))/(h(i))^2)-8*(v(i+1)*h(i)+J(i)-J(i+1))/(h(i))^3;
a(i,5)=(a(i-1,3)/(h(i))^2)-(2*(v(i+1)-v(i))/(h(i))^3)+3*(v(i+1)*h(i)+J(i)-J(i+1))/(h(i))^4;
a(i,1)=J(i+1);
a(i,2)=v(i+1);
a(i,5)=a(i,5)/(t(i+1)-t(i))^4;
a(i,4)=a(i,4)/(t(i+1)-t(i))^3;
a(i,3)=a(i,3)/(t(i+1)-t(i))^2;
a(i,2)=-a(i,2)/(t(i+1)-t(i))^1;
a(i,1)=a(i,1);
end;
p=mkpp(t,a);
Модельные тестовые данные для использования этой функции:
t=[0 30 60 90 120 150 200 220];
J=[650 675 710 715 725 730 735 740];
v=[10 10 10 10 10 10 10 10];
p1=ermit(t,J,v);
tt=0:10:220;
JJ1=ppval(p1,tt);
plot(t,J,tt,JJ1);
axis([0 250 0 750]);
title('Полином Эрмита четвертого порядка')
xlabel('t'); ylabel('J');
legend('сплайн', 'Полином Эрмита четвертого порядка').
```

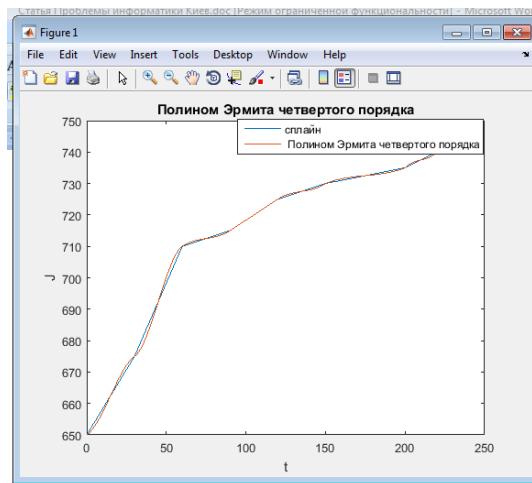


Рисунок 3 - Интерполярирование при помощи полинома Эрмита четвертого порядка с явным заданием производных

Как следует из рис. 3, при использовании Эрмитова полинома требование гладкости функции выполняется, соответственно выполняется условие прохождения по заданной траектории с заданными скоростями.

В виртуальном симуляторе Roboguide V6.40 задаются цели, строится группа целей и по ним генерируется программа для движения манипуляционного робота по заданным координатам и скоростям. Скриншот работы программы на симуляторе приведен на рис. 4.

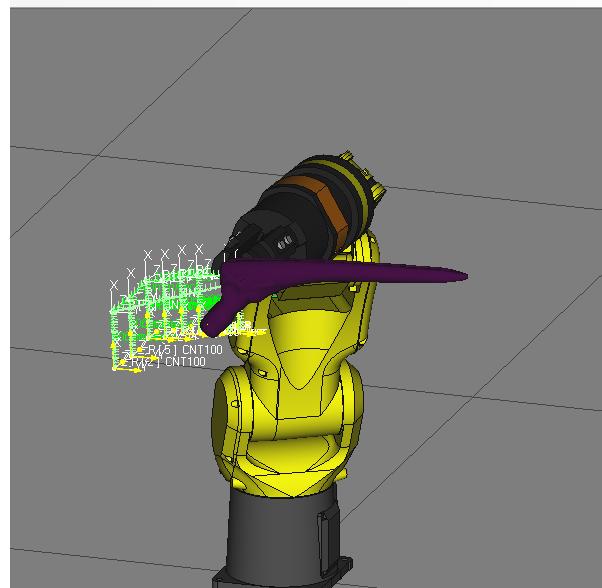


Рисунок 4 - Генерирование ТР-программы в виртуальном симуляторе Roboguide V6.40

В заключение можно сделать следующие выводы.

На примере импланта тазобедренного сустава была построена симуляция движения

робота при помощи виртуального симулятора Roboguide V6.40, для построения интерполяционного полинома с заданными координатами и скоростями был использован полином Эрмита четвертого порядка. Тестовые примеры показали реализуемость и эффективность предложенного подхода.

#### Список литературы

1. <http://irobs.ru/robotyi-dlya-napryileniya1>.
2. <http://studall.org/all-109356.html>.
3. <http://metcomposit.ru/tech.html>.
4. Alontseva D., Krasavin A., Kolesnikova T., Russakova, A. Modeling of Processes Taking Place during Powder Coating Treatment by an Electron Beam or a Plasma Jet// ActaPhysicaPolonica A Vol. 125, No. 6, 2014. - P. 1275-1279
5. Достанко А.П. Плазменная металлизация в вакууме / А.П. Достанко, С.В. Грушецкий, Л.И. Киселевский и др. — М.: Наука и техника, 1983.
6. <http://on-v.com.ua/novosti/tekhnologii-i-nauka/universalnyj-3d-skaner-scan3d-universe/>.
7. Карымсакова И.Б. Усовершенствование методов построения систем создания имплантов с использованием современных производственных решений / И.Б. Карымсакова, Н.Ф. Денисова, Ю.В. Крак // Междунар. науч. конф. «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMCI'2017)», 22–26 мая 2017. – Зализный порт. Украина. Херсон: Изд-во ПП Вишемирський В.С., 2017. – С. 69-70.
8. Karymsakova I.B., Krak Iu.V., Denissova N.F. Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2017. – Volume 5, Issue 3. – P.44-52
9. Золотых Н.Ю. Matlab в научных исследованиях. - Нижегородск, 2004. Завьялов Ю.С. Методы сплайн-функций / Ю.С. Завьялов, Б.И. Квасов, В.Л. Мирошниченко. - М., Наука, 1980.
10. Кириченко Н.Ф. Манипуляционные роботы. Алгоритмическое и программное обеспечение средств управления движением: Учеб. пособие / Н.Ф. Кириченко, Р.А. Сорока, Ю.В. Крак. - Киев КГУ, 1987.
11. Попов Е.П. Манипуляционные роботы: динамика и алгоритмы / Е.П. Попов, А.Ф. Верещагин, С.Л. Зенкевич. - М., Наука, 1978.
12. Завьялов Н.Ю. Методы сплайн-функций /Ю.С. Завьялов, Б.И. Квасов. В.Л. Мирошниченко. – М., Наука, 1980.

Получено 17.04.2019

---

MFTAA 50.09.45

**А.К. Кереев, С.К. Атанов**

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ.

**Е.А. Оспанов**

Шәкәрім атындағы мемлекеттік университет, Семей қ.

#### МИКРОКОНТРОЛЛЕРДЕ ШИКІ МӘЛІМЕТТЕРДІ ДЕНГЕЙЛЕСТИРУ

Мақалада датчиктердің дәлдігін арттыру үшін олардан тускен шикі мәліметтерді микроконтроллерде деңгейлестіру және ол үшін калман фильтрін қолдану мәселелері қарастырылған. Сынау үшін Arduino Uno платформасы негізіндеі ATmega328 микроконтроллері және аналогтық ADXL335 акселерометрі қолданылды.

В статье рассматривается сглаживание сырых данных и использование фильтра калмана на микроконтроллере с целью повышения точности датчиков. Для испытания использовался микроконтроллер ATMEga328 на платформе Arduino Uno и аналоговый акселерометр ADXL335.

The article discusses the smoothing of raw data and the use of a Kalman filter on a microcontroller to improve the accuracy of sensors. The ATMEga328 microcontroller on the Arduino Uno platform and the

*ADXL335 analog accelerometer were used for testing.*

**Кілттік сөздөр:** шикі мәліметтер, деңгейлестіру, калман фильтрі.

Қазіргі уақытта барлық заманауи автоматты және диспетчерлік басқару сыйбалары өлшеуіш датчиктерден телеметрикалық мәліметтерді жинауды, оларды сақтауды, бейнелеуді және өңдеуді қамтамасыз ететін ақпараттық басқару жүйелеріне негізделген.

Барлық осындай жүйелерде накты уақыт режимінде жұмыс жасау, үлкен көлемдегі артық ақпаратты қолдану (мәліметтерді жаңартудың жоғары жылдамдығы) азды-көпті деңгейде жүзеге асырылған. Кез келген өлшеуіш құралында қателік болады, сыртқы және ішкі әсерлердің салдарынан алынатын мәліметтер шулы болып табылады. Мәліметтер (шикі, өңделмеген мәліметтер) негұрлым шулы болса, соғұрлым оны өңдеу құрделірек болады.

Деңгейлестіру – шуды және қажетсіз ақпаратты жоятын мәліметтерді өңдеу алгоритмі. Мысалы, деңгейлестіру процедурасын пайдалану арқылы траекторияны шынайы көрсетуге және жүріп өткен қашықтықтың дәл мәндерін есептеуге болады.

Микроконтроллер негізінде құрылғыларды жасау кезінде де, өлшеу мен шулар мәселеін шешу қажеттілігі туындаиды. Оларды өңдеу үшін Калман фильтрін қолдануға болады.

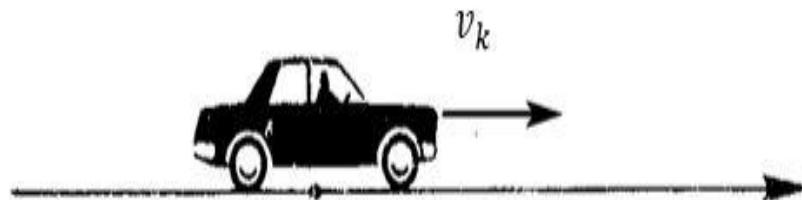
Көптеген жағдайларда бірнеше өлшеулердің орташа мәні бойынша қарапайым деңгейлестіру қолданылады. Шығыс мәндері жеткілікті тегіс болып көрінгенімен, шынайы мәнге қатысты төмен дәлдікті береді.

Калман фильтрінде мұндай кемшіліктер жок. Калман фильтрі көптеген қосымшаларда, соның ішінде шулы сигналдарын фильтрлеу және болашақ қүйлерді болжау үшін қолданылады. Шулы сигналдарын фильтрлеу өте маңызды, себебі көптеген сенсорлар шығысына тікелей пайдаланылуға дәлдігі төмен шулы мәліметтер береді.

Егер жүйеге әсер ететін басқаруышы әсерлердің қасиеттері белгілі болса, онда жүйе оны ескере алатындығын қолдана отырып, американдық математик Рудольф Калман жоғары нәтижелерге қол жеткізді.

Қарапайым мысалдан бастайық, ол бізді жалпы есепті қалыптастыруға әкеледі. Егер автокөлікпен қозғалып және оның ағымдағы GPS координаттарын алсақ, онда біз автокөліктің жылдамдығын және бағытын ескере отырып, орынды анықтау дәлдігін арттыра аламыз (1-сурет). Жылдамдық газ педалын басу дәрежесінен тәуелді. Осының бәрін фильтр алгоритміне қосып, нәтижесінде бір GPS қабылдағыштан алынғаннан көрі дәлірек координаттар алуға болады.

Өлшенетін, кейіннен фильтрден өткізілетін мәнді  $x_k$  деп белгілейік (бұл координата, жылдамдық, үдеу, ылғалдылық, температура, қысым және т.б. болуы мүмкін). Автокөлік салмағын, пішінін, жол жабынын және т.б. біле отырып, газ педалының  $v_k$  қозғалыс жылдамдығына қалай әсер ететінін анықтадық.



1-сурет – Автокөлік қозғалысы

Сонда автокөліккоординатасы келесі формула бойынша өзгеріп отырады:

$$x_{k+1} = x_k + v_k dt.$$

Шынайы өмірде автокөліктің координатасын дәл табу үшін автокөлікке әсер ететін әсерлерді (жел, шокалақ, және т.б.) ескеруіміз керек, өйткені автокөліктің шынайы жылдамдығы есептік жылдамдықтан өзгеше болады.

Тендеудің оң жағына кездейсоқ шаманы  $w_k$  қосамыз:

$$x_{k+1} = x_k + v_k dt + w_k.$$

Автокөлікте орнатылған GPS-сенсор бар, ол автокөліктің шынайы координаттарын өлшеуге тырысады, бірақ оны дәл өлшеу мүмкін емес,  $p_k$  қателікпен өлшейді, бұл да кездейсоқ шамасы. Нәтижесінде сенсордан қате мәліметтер аламыз:

$$z_k = x_k + p_k.$$

Есептің міндеті, сенсордың қатесі бар  $z_k$  көрсеткішін біле отырып, автокөліктің шынайы координатасына өте жақын  $x_k$  координатасын табу. Бұл жуықтауды  $x_k^{opt}$  деп белгілейік.

Ал, жүйені сырттан басқаратын мүшени  $u_k$  деп белгілейік. Біздің мысалымызда:

$$u_k = v_k \cdot dt.$$

Сонда координата тендеуі және сенсор көрсеткіштері келесідей болады:

$$x_{k+1} = x_k + u_k + w_k,$$

$$z_k = x_k + p_k.$$

$k$ - қадамда автокөліктің шынайы координатасына ( $x_k$ ) жақын фильтрленген  $x_k^{opt}$  мәнін таптық деп жорамалдайық.

Бізге белгісіз координатаның өзгеру формуласын біз білеміз:

$$x_{k+1} = x_k + u_k + w_k.$$

Сондықтан, біз сенсордан мән алмай тұрып,  $k + 1$  қадамында автокөлік координатасы осы заң бойынша өзгереді және сенсор  $x_k^{opt} + u_k$  мәніне жақын мән береді деп жорамалдай аламыз.

$k + 1$  қадамында сенсордың дәл емес көрсеткіші  $z_{k+1}$ .

Калман идеясы -  $x_{k+1}$  шынайы координатага ен жақын жуықтауды алу үшін, дәл емес сенсордың  $z_{k+1}$  көрсеткішімен біз жорамалдап, күтетін  $x_k^{opt} + u_k$  мәнінің ортасын тандауымыз қажет.

Сенсорға  $K$  салмағын, ал жорамалданған мәнге ( $1-K$ ) салмағын берейік:

$$x_{k+1}^{opt} = K \cdot z_{k+1} + (1 - K) \cdot (x_k^{opt} + u_k).$$

$K$  коэффициенті Калмана коэффициенті деп аталады және итерация қадамынан тәуелді.

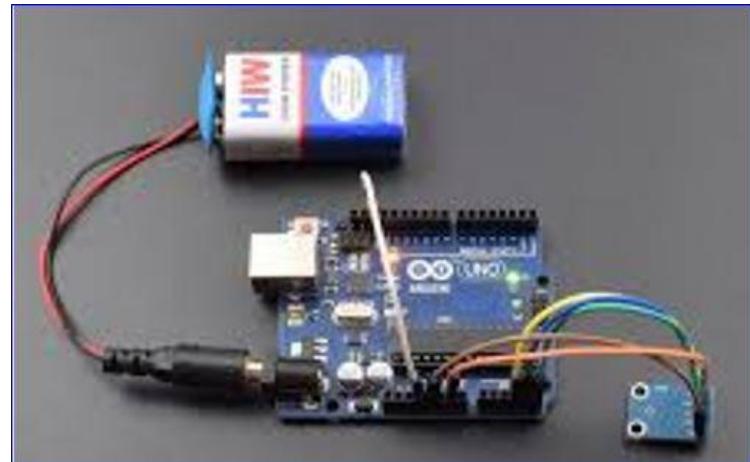
Калман коэффициентін ( $K$ ) алынатын координатаның тиімді мәні  $x_k^{opt}$  шынайы  $x_{k+1}$  координатасына жақын болатындей етіп алуымыз қажет.

Мысалы, сенсор дәлдігі жоғары болса, біз оның көрсеткіштеріне сенетін болсақ, онда  $z_{k+1}$  мәніне көбірек салмақ береміз. Егер сенсор дәлдігі төмен болса, онда жорамалданатын  $x_k^{opt} + u_k$  мәніне көбірек салмақ береміз.

Калман фильтрін сынау үшін Arduino Uno платформасы негізіндеи ATmega328 микроконтроллері және аналогтық ADXL335 акселерометрі алынды. Акселерометрден мәліметтер оқу аналогтық-цифрлық түрлендіру арқылы жүзеге асырылды (3-сурет).



2-сурет – ADXL335 акселерометрі

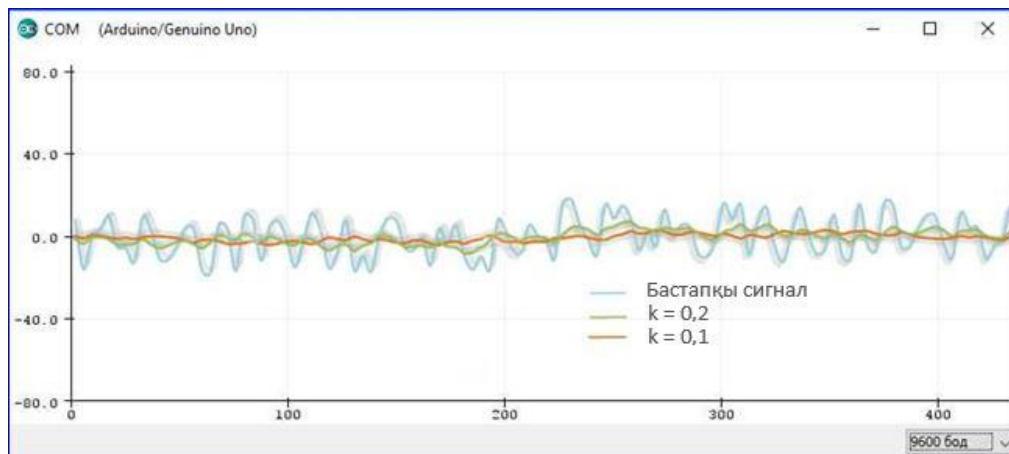


3-сурет – Құрылғылардың жалғануы

Шұлдың жағдайда фильтрді сынау үшін ADXL335 акселерометрі электроприводтқышқа бекітілді (4-сурет).



4-сурет – Қозғалтқыштан вибрация акселерометрге берілді, нәтиже 5-суретте көрсетілген: Көк сызық – бастапқы сигнал; Қызыл сызық – калман коэффициенті  $k=0,1$  тең болғандағы деңгейлестіру; Көк сызық – калман коэффициенті  $k=0,1$  тең болғандагы деңгейлестіру;



5-сурет – Нәтиже графигі

Жоғарыда айтылғандарды қорыта келе, датчиктердің дәлдігін арттыру үшін микроконтроллерде мәліметтерді деңгейлестіру қажет екендігі көрсетілді. Деңгейлестіру кезінде 0-ден артық және 1-ден кем болатындағы етіп калман коэффициенті таңдалуы қажет. Коэффициент аз болған сайын, мәліметтер неғұрлым жақсы дейгейлестіріледі, бірақ дейгейлестіру уақыты артады, демек нақты құрылғыда жылдам мәлімет алу оның дәлдігінен маңыздырақ болса, калман коэффициенті 1 санына жақындау болуы, керісінше жағдайда 0-ге жақындағы етіп алынады.

#### Әдебиеттер тізімі

- Степанов О.А. Методы обработки навигационной измерительной информации. – СПб.: Университет ИТМО, 2017. – 196 с.
- Хруль С.А. Адаптивный алгоритм обработки потока навигационных данных на основе метода диагностической фильтрации / С.А. Хруль, Д.М. Соныкин // Известия Томского политехнического ун-та. – 2012. - Т. 321. - № 5. - С. 217-222.
- Долганюк С.И. Автоматизированное управление транспортом на основе системы спутниковой навигации ГЛОНАСС // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – С. 119-121.

Қабылданды 17.04.2019

УДК 629.3.027.3

МРНТИ 55.03.77

**Д.К. Кушалиев, Т.А. Балтаев**

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангира хана, г. Уральск

**Б.А. Ермanova**

Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем,  
г. Уральск

#### РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ ДЛЯ УЗЛОВ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

*Представлена конструкция подшипника скольжения для возвратно-вращательного движения с подвижным пружинным вкладышем, который может быть использован в различных узлах транс-*

*портной техники и технологического оборудования.*

*Жылжымалы серілпелі жапсырмасы бар қайтарылды-айналмалы қозғалысқа арналған сырғанау мойынтрегінің конструкциясы ұсынылған, ол көлік техникасы мен технологиялық жабдықтардың түрлі топтаптарында пайдаланылуы мүмкін.*

*The design of the sliding bearing for reciprocating rotation with a movable spring liner, which can be used in various nodes of transport equipment and process equipment, is presented.*

**Ключевые слова:** детали подшипников, конический пружинный вкладыш, эффект храповика, изменение диаметра вкладыша, упругий натяг вместо зазора.

Энергетической основой нормального окислительного трения (НОТ), как было показано Б.И. Костецким [1-3] и развито в наших работах [4-6], является энергия пластической деформации (активация металла), которая частично реализуется скачкообразным возникновением пленки оксида металла. Другая ее часть переходит в потенциальную энергию пленки оксида в виде ее внутренних напряжений и ускоряет разрушение очередной пленки. Энергетической основой избирательного переноса (ИП), как оказалось, также является микропластическая деформация, которая локализована при нормальном трении в поверхностном слое (1-2 мкм) и может реализоваться как возникновением защитной структуры в виде пленки оксида (при НОТ), так и мягкого металла (Cu, Ag, Au) при ИП. В средах, содержащих кислород и влагу, ИП и НОТ конкурируют в захвате поверхности и могут вытеснять друг друга, что зависит от режима и условий. В компрессоре холодильника, где окислительные процессы подавлены, а пластические деформации микрорешеток (на мягкой стали) возникают при естественном режиме нагружения, условия благоприятны для ИП. Подшипники скольжения работают в пограничном режиме только во время запуска и остановки работы оборудования, когда скорость вращения вала недостаточна для создания масляной пленки. Именно во время запуска и завершения работы происходит износ подшипников. В двигателях внутреннего сгорания, где окисление поддерживается горением топлива и неограниченным запасом кислорода и влаги, условия благоприятны для НОТ, и поэтому ИП дает временный эффект, а при продолжении эксплуатации интенсивность окислительного износа повышается за счет диспергирующего действия поверхностно-активных веществ (ПАВ). Из опыта исследований механизмов НОТ, ИП и явлений фрикционной непроводимости (ФН) следуют два совместно действующих условия повышения устойчивости эффекта безызносности:

1. Активация рабочих поверхностей пластической деформацией.
2. Подавление (ограничение) окислительных процессов на рабочих поверхностях подшипников.

В традиционных подшипниках, работающих с зазором, эти условия не выполняются.

Представлена конструкция подшипника скольжения для возвратно-вращательного движения, в котором эти условия могут быть выполнены [7-10]. С этой целью подшипник снабжен подвижным вкладышем в виде винтовой цилиндрической пружины (промежуточным элементом), который в колебательном режиме принудительно поворачивается только в одну сторону, и таким образом достигается равномерность износа и распределение смазки. Натяг пружины, необходимый для достижения микропластических деформаций, создается ее поджатием. В колебательном режиме за счет закручивания или раскручивания пружинного вкладыша возникает упругое натяжение соответственно на внутренней или наружной поверхности, и он принудительно поворачивается в одном направлении (эффект храповика). Подавление окислительных процессов в предложенной конструкции легко достигается сальниковым уплотнением. Положительный эффект получается также за счет снижения адгезионной составляющей трения (трения покоя) и частичной реализации идей Н.Е. Жуковского «о движении без трения» (вращением промежу-

точной опоры) без использования для этого внешнего источника энергии. Подобный подшипник может найти широкое применение взамен игольчатых подшипников карданного вала, сайлентблоков подвески, в шарнирах рулевого управления и других шарирных узлах, работающих в возвратно-вращательном режиме.

В разработанном группой авторов устройстве задача повышения эксплуатационных характеристик достигается введением в подшипник упругого промежуточного элемента - подвижного вкладыша в виде винтовой цилиндрической пружины, регулированием усилия сжатия которого  $P_k$  на рабочих поверхностях создается уплотнение, необходимое для ограничения окислительных процессов и возникновения активации поверхности микропластической деформацией.

Стабилизация режима и равномерность износа достигается тем, что при возвратно-вращательном движении вала или наружного кольца за счет закручивания или раскручивания при этом пружинного вкладыша возникает торможение соответственно на внутренней или наружной поверхностях, и пружинный вкладыш (благодаря возникающему при этом «эффекту храповика») принудительно поворачивается только в одном направлении, зависящем от направления навивки пружины. Кроме того, постоянно в процессе работы меняется линия контакта на рабочих поверхностях, что также ведет к снижению их износа.

Для подрегулировки уплотнения, например с целью компенсации износа при ремонте, между одной из опорных шайб и торцом пружинного вкладыша при необходимости могут быть установлены регулировочные шайбы.

Для возбуждения и поддержания режима безызносности могут быть использованы (при выполнении отмеченных выше условий) различные методы, описанные в специальной литературе: введение в смазку металлоплакирующих присадок, специальная обработка методами ФАБО, применение материалов, содержащих металлоплакирующие компоненты, и др.

Примеры выполнения некоторых узлов агрегатов автомобилей с использованием подшипника новой конструкции приведены ниже.

Передняя подвеска большинства моделей автомобилей независимая, рычажного типа, на витых цилиндрических пружинах, работающих совместно с двумя телескопическими амортизаторами и стабилизатором поперечной устойчивости. Смонтирована она на отъемной поперечине и представляет собой самостоятельный узел. Для облегчения управления автомобилем шкворень поворотного кулака установлен на двух игольчатых подшипниках, защищенных от попадания грязи резиновыми кольцами, а осевое усилие воспринимается упорным шариковым подшипником, закрытым специальным уплотнителем (см. рис.).

Осевой зазор между головками поворотного кулака и стойки выбирается регулировочной шайбой. Зазор после установки шайбы должен быть не более 0,2 мм. Шкворень закреплен в поворотном кулаке с помощью штифта, входящего в полукруглую лыску на верхнем конце шкворня. При эксплуатации автомобиля шкворень, работающий в колебательном режиме, изнашивается с одной стороны в результате вдавливания иголок, появляется аномальный люфт и нарушается устойчивость в управлении. По инструкции этот люфт можно устранить поворотом шкворня на 90° и тем самым нагрузить ранее не работавшие поверхности. Для этого на шкворне имеется вторая полукруглая лыска. Эти меры несколько повышают общий ресурс шкворневой подвески, но не устраняют принципиального недостатка игольчатого подшипника.

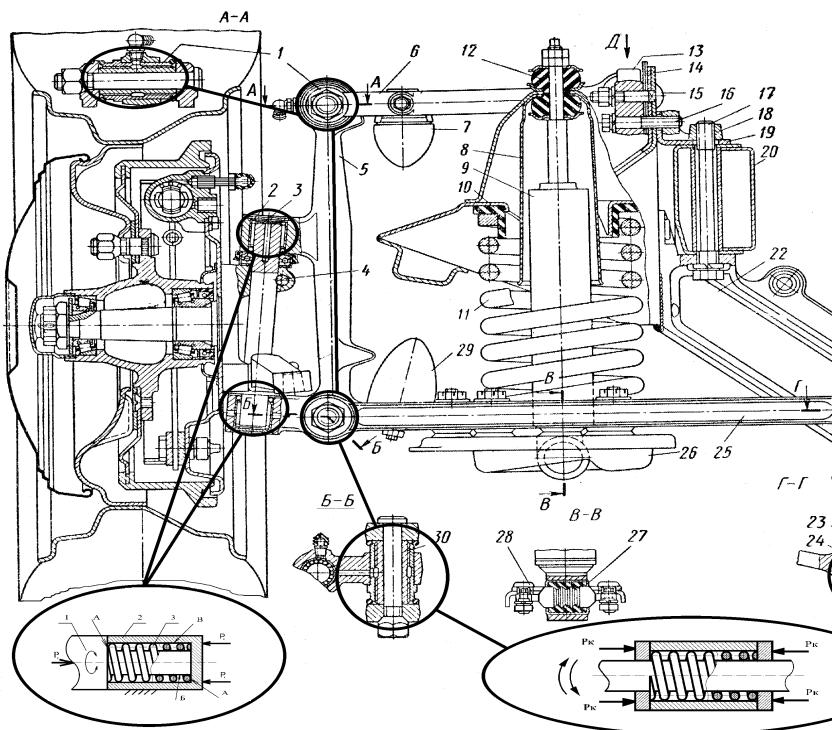


Рисунок - Передняя подвеска автомобилей с возможными вариантами замены существующих шарнирных узлов шарнирами новой конструкции

Игольчатые подшипники не вращаются, а лишь колеблются с небольшими амплитудами (в пределах контактной зоны) и фактически выполняют функцию муфты сцепления между валами с переменной несоосностью. Под действием возникающих при передаче через них крутящих моментов, высоких контактных напряжений на рабочих поверхностях подшипников образуются вмятины, называемые «ложным бринелированием», и происходит заклинивание наиболее нагруженного подшипника. В стандартном игольчатом подшипнике внутреннее кольцо отсутствует, дорожкой качения для игл служит поверхность шкворня.

В традиционных подшипниках эти условия не выполняются, поэтому режим ИП, достигнутый введением в смазку металлоплакирующих присадок, действует временно и при продолжении работы вытесняется окислительным процессом. Интенсивность износа при этом резко повышается за счет разрушающего действия ПАВ, содержащихся в металлоплакирующих присадках.

Нетрадиционные подшипники скольжения изготавливаются на базе игольчатых подшипников 943/20 с максимально возможным использованием деталей подшипников. Так, в подшипнике 943/20 вместо роликов используется специальный пружинный вкладыш. Такой вкладыш устанавливается в наружное кольцо подшипника. Оно может быть выполнено (специально для подшипников шкворневой подвески автомобилей) без удаления донышка. Такая конструкция обеспечивает лучшую герметизацию подшипника и исключает установку специальных крышек, применяемых в этом узле.

Конструктивно кольцо подшипника выполняется без верхнего бурта, так как открытый бурт завальцовывается под углом 90° с уже установленным пружинным вкладышем.

В конструкции кольца отсутствует так называемый «пазик», используемый для заполнения кольца иголками на сборочной операции.

Преимущества новых подшипников:

- Завальцовка нетрадиционного подшипника выполняется под углом 90°, что упрощает конструкцию подшипника. Применение закрытой конструкции подшипника повышает его эксплуатационные характеристики.
- Применение упругого пружинного вкладыша обеспечивает простоту сборки подшипников – отсутствует операция комплектования подшипников иголками по селективному принципу.
- Существенно облегчается технологический процесс изготовления подшипника за счет сокращения количества операций и переходов.
- Снижается удельная нагрузка и повышается грузоподъемность подшипника, а также обеспечиваются условия выполнения режима безызносного трения.
- Облегчается ремонт и восстановление шкворневого узла – новая конструкция подшипника позволяет использовать старые шкворни (со следами «ложного бринеллирования») в комплекте с новыми подшипниками нетрадиционной конструкции.
- Существенно облегчается сборка узлов с использованием подшипника новой конструкции.
- Увеличивается долговечность подшипника за счет использования новых трибологических принципов и эффектов.

Такой подшипник характеризуется совместно действующими условиями и дополнительными эффектами:

- установлением на рабочих поверхностях натяга вместо зазора для активации их пластической деформацией и подавлением (ограничением) на них окислительных процессов;
- эффект снижения адгезионной составляющей трения (трения покоя);
- частичная реализация идей Н.Е. Жуковского «о движении без трения» (вращением промежуточной опоры) без использования для этого внешнего источника энергии за счет внутренней энергии трения.

Работа выполнена в рамках грантового финансирования научного проекта ИРН: АР05133348 «Функциональный тюнинг трибосопряжений транспортной техники и технологического оборудования применением новых энергосберегающих технологий для повышения их ресурса работы».

#### Список литературы

1. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. - Киев: Техника, 1970. - 296 с.
2. Костецкий Б.И. Износостойкость деталей машин. - Киев-Москва: Машгиз, 1950. - 168 с.
3. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении. - Киев: Техника, 1976. - 326 с.
4. Kuranov V. Unity and contrast of normal oxidizing friction and selective transfer / V. Kuranov, A. Vinogradov, A. Buzov //VII international symposium intertribo'99 proceedings tribological problems in exposed friction systems. - Slovak Republic, Stara Lesna, 1999. - P. 128 – 134.
5. Куранов В.Г. Влияние среды и свойств материалов на упрочняющее действие и активацию процессов при пластической деформации и трении / В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов, А.В. Бузов и др. // МЕТАЛЛДЕФОРМ'99: Сб. матер. 1-й Междунар. науч.-техн. конф. - Самара, 1999. - С. 122-126.
6. Kuranov V. Unity and contrast of normal oxidizing friction and selective transfer / V. Kuranov, A. Vinogradov, S. Mironov // POLISH ACADEMY OF SCIENCES EXPLOITATION PROBLEMS OF MACHINES A quarterly concerning problem of tribolody, reliability, exploitation, diagnostics. VOL.XXXIII, ISSUE2(114), Warshaw, 1998. - P. 239-245.
7. Куранов В.Г. Износ и безызносность / В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов, А.С. Денисов. – Сара-

- тов: СГТУ, 2000. -136 с.
8. Куранов В.Г. Движение без трения и износа: учеб. пособие / В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов. - Саратов: СГТУ, 2007. – 52 с.
  9. Пат. 2162556 РФ МПК<sup>7</sup> F 16 C 17/00, 33/26. Подшипник скольжения для возвратно-вращательного движения / В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов, А.В. Бузов, Ю.А. Петров, В.А. Каракозова - № 99107058/28; Заявлено 31.03.99; Опубл. 27.01.01 // Изобретения. Полезные модели. – 2001. - № 3. - С. 147.
  10. Виноградов А.Н. Подшипники скольжения для возвратно-вращательного движения на основе новых трибологических принципов и эффектов / А.Н. Виноградов, В.Г. Куранов // Восстановление и упрочнение деталей машин: Межвуз. научн. сб. - Саратов: СГТУ, 2003.- С.175-182.

Получено 17.04.2019

---

МРНТИ 29.19.31

**С.В. Плотников, Ф. Лэ, И.А. Клиновицкая**

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

**ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КАЗАХСТАНСКОГО КРЕМНИЯ**

*В статье рассматриваются методы повышения коэффициента полезного действия фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) на основе казахстанского кремния. Представлены результаты исследования свойств и параметров Казахстанских ФЭП. Описаны необходимые операции для перехода с реализованной в Казахстане стандартной технологии производства Al-BSF ФЭП на технологию PERC ФЭП.*

*Мақалада қазақстандық кремний негізінде фотоэлектрлік түрлөндіргіштердің (ФЭТ) пайдалы өсөр коэффициентін арттырудың әдістері қарастырылады. Қазақстандық ФЭТ қасиеттері мен параметрлерін зерттеудің нәтижелері ұсынылған. ФЭТ Al-BSF өндірісінің Қазақстанда іске асырылған стандартты технологиясынан ФЭТ PERC технологиясына көшу үшін қажетті операциялар сипатталған.*

*The article discusses methods for increasing the efficiency of solar cells based on Kazakhstan silicon. The results of the study of the properties and parameters of Kazakhstan solar cells are presented. The necessary operations for transition from the standard Al-BSF solar cells technology implemented in Kazakhstan to PERC solar cells technology are described.*

**Ключевые слова:** фотоэлектрические преобразователи, солнечные элементы, кремний, Al-BSF структура, PERC структура, солнечная энергетика.

Предполагается, что фотоэлектрическое преобразование энергии (солнечная энергетика) сыграет большую роль на будущем рынке электроэнергии, поэтому интерес к этой отрасли растет во всем мире. Организация Объединенных Наций прогнозирует рост населения мира с 7,6 млрд (2018 г.) до 9,2 млрд человек к 2040 году [1], поэтому мировая потребность в электроэнергии будет продолжать расти. Независимое агентство в составе федеральной статистической системы США, ответственное за сбор, анализ и распространение информации об энергии и энергетике, в отчете International Energy Outlook 2018 сообщает, что мировое потребление энергии в период с 2015 по 2040 год, по прогнозам увеличится на 28% [2]. В последние годы в общественном сознании крепнет убежденность в том, что энергетика будущего должна базироваться на крупномасштабном использовании солнечной энергии. Солнце – это огромный, неиссякаемый, абсолютно безопасный источник энергии, в равной степени всем принадлежащий и всем доступный. Ставка на солнечную энергетику должна рассматриваться как беспрогрышный и безаль-

тернативный выбор для человечества.

Целью данной работы является исследование методов повышения коэффициента полезного действия фотоэлектрических преобразователей. Как известно [3], в Казахстане реализуется проект по созданию фотовольтаической индустрии KazPV, который включает в себя ряд промышленных предприятий, занимающихся добычей, переработкой кремния, а также производством фотоэлектрических преобразователей и сборкой модулей. Для достижения поставленной цели был исследован процесс производства ФЭП на основе казахстанского кремния, реализованный на ТОО «Kazakhstan Solar Silicon», получены образцы (кремниевые пластины и ФЭП), которые были исследованы в Национальном институте солнечной энергетики Франции INES.

Как было отмечено в [3], реализуемая на ТОО «Kazakhstan Solar Silicon» технология является одной из хорошо отработанных в мире, основана на ряде физико-химических процессов и состоит из следующих этапов: текстурирование, создание эмиттера методом диффузии фосфора, удаление фосфорсиликатного стекла, нанесение антиотражающего покрытия, металлизация (создание контактной сетки и токособирающих шин), вжигание контактов, а также финальное тестирование и сортировка готовых ФЭП.

ФЭП казахстанского производства имеют стандартную структуру BSF (поле на тыльной поверхности). Данный тип BSF-элементов обладает рядом ограничений, которые становятся все более очевидными в связи с тем, что в последнее время в отрасли делается упор на повышение эффективности (КПД) ФЭП. Металлическая пленка алюминия, которая наносится на тыльную сторону солнечного элемента в качестве BSF, не может в полной мере уменьшить скорость рекомбинации носителей заряда на тыльной стороне элемента. Только 60-70% инфракрасного (ИК) света, достигающего алюминий на тыльной стороне, отражается назад. Это приводит к электрическим и оптическим потерям, что, в свою очередь, значительно снижает КПД изготавливаемых ФЭП.

Материалом для исследования были выбраны кремниевые пластины (КП), изготовленные из мультикристаллического кремния «солнечного» качества, толщиной 180-200 мкм. КП прошли все этапы технологических операций, описанных выше, с получением конечного продукта – фотоэлектрических преобразователей.

В Национальном институте солнечной энергетики Франции INES было проведено исследование свойств и параметров КП и ФЭП. На первом этапе исследования были произведены замеры электрофизического параметра полупроводника - удельного сопротивления КП. Для этой цели удобнее всего использовать 4-х зондовый метод измерения, не требующий создания омического контакта к исследуемому образцу, что позволяет не разрушать материал и не изменять его свойства в процессе измерения. Поэтому для исследования удельного сопротивления использовался прибор измерения сопротивления 4-точечным методом СМТ SR2000N. Результаты измерений представлены на рис. 1.

Электрически активные и неактивные примеси оказывают сильное влияние на электрофизические характеристики кремния и параметры ФЭП. Они приводят к изменению времени жизни, коэффициентов поглощения, увеличению скорости поверхностной и объемной рекомбинации, изменению скорости диффузии элементов при легировании. Наличие примесей изменяет удельное сопротивление кремния и областей готового ФЭП. Как видно на рисунке 1, удельное сопротивление исследуемых КП составляет диапазон  $r_{ho}=1,228 \div 1,417$  (Ом\*см). Равномерность распределения среднего значения  $r_{ho}$  по выборке КП составляет 5,46%. Также, следует отметить неравномерность распределения удельного сопротивления по пластине. На рисунке 2 представлена карта распределения  $r_{ho}$ . На карте видно неравномерное распределение удельного сопротивления по пластине, что может привести к понижению коэффициента полезного действия готового ФЭП.

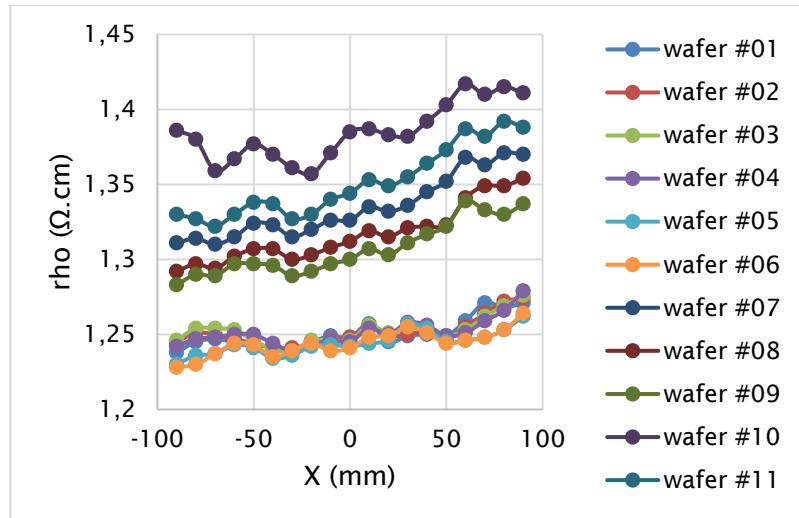


Рисунок 1 – Удельное сопротивление КП до обработки

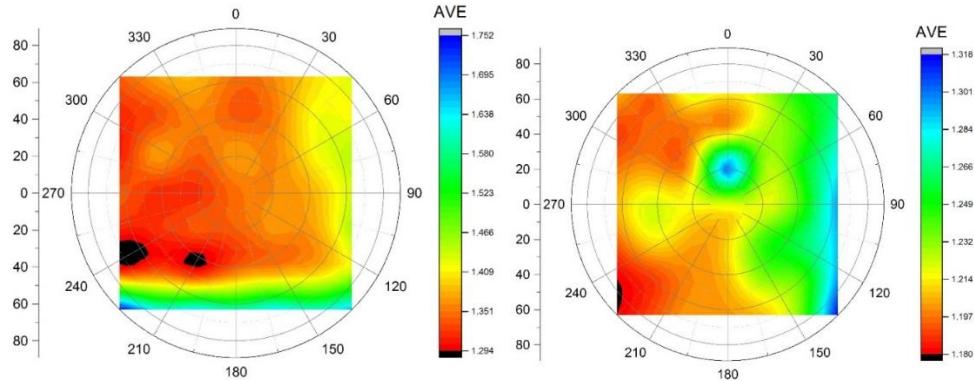


Рисунок 2 – Карты распределения удельного сопротивления КП, полученные на приборе измерения сопротивления 4-точечным методом CMT SR2000N

Также были получены фотолюминисцентные изображения (PL-изображения) КП (рис. 3) на измерительной системе Luminescence ImaGing System – Model LIS-R1 и проведен их анализ. Как известно [4], PL-изображения показывают различные дефекты, связанные с расположением в блоке (центральные блоки с низкой плотностью дислокаций, блоки с высокой плотностью дислокаций, блоки с примесями в нижней части, боковые блоки). В свою очередь, данные дефекты непосредственно снижают эффективность готовых ФЭП [5, 6]. Дислокации негативно влияют как на ток короткого замыкания  $I_{sc}$ , так и на напряжение холостого хода  $U_{oc}$ . Специфическое влияние дислокаций и других дефектов на производительность готовых ФЭП напрямую зависят от процесса производства ФЭП, в частности от способности данного процесса удалять или пассивировать дефекты посредством геттерирования и гидрирования. PL-изображения предоставляют уникальную возможность получить соответствующую информацию о дефектах без какой-либо подготовки образцов и провести анализ технологического процесса.

Темные зоны, присутствующие на PL-изображениях КП (рис. 3), являются местами скопления дислокаций, возникающих в процессе кристаллизации кремниевых слитков.

Данные дефекты пагубно влияют на производительность ФЭП.

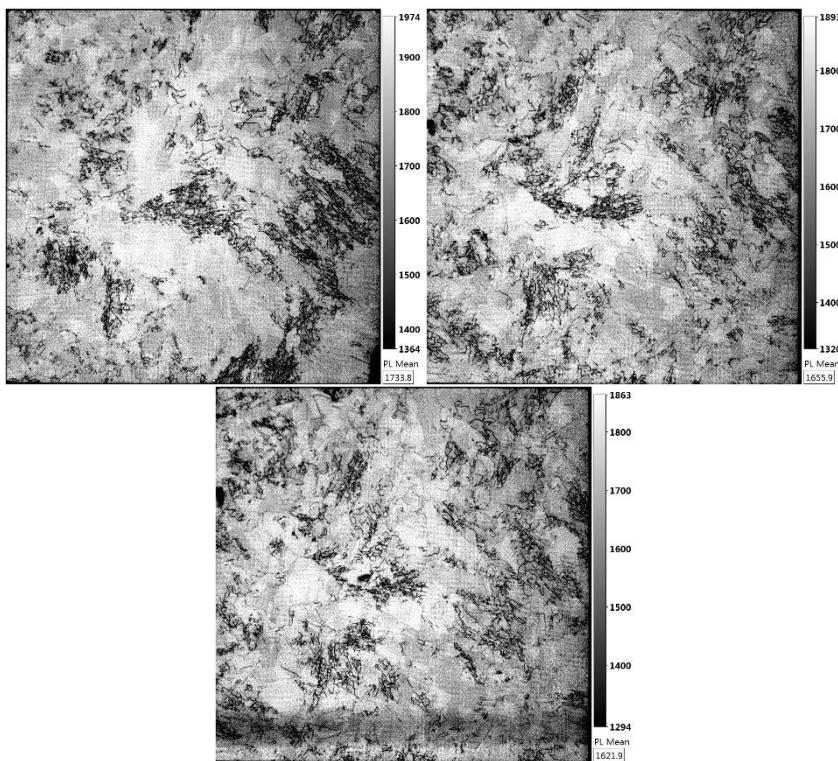


Рисунок 3 – PL-изображения КП (образцы 1, 7, 10), полученные на измерительной системе Luminescence ImaGing System – Model LIS-R1

Из исследуемых образцов КП были получены ФЭП, на которых проведено исследование следующих параметров и характеристик: электрические параметры (ВАХ) (ток короткого замыкания  $I_{sc}$ , напряжение холостого хода  $U_{oc}$ , фактор заполнения  $FF$ , максимальная мощность  $P_{mpp}$ , эффективность), отражательная способность, а также получены PL-изображения.

Известно, что существует спектральная зависимость светового тока ввиду неоднородности вероятности разделения носителей заряда. К примеру, вероятность разделения на поверхности ниже, чем в глубине ФЭП.

Поэтому отражательная способность является одним из основных параметров, влияющих на коэффициент полезного действия готового ФЭП. На рис. 4 представлены результаты измерения отражательной способности исследуемых образцов. На графике зависимости отражательной способности от длины волны падающего излучения видно, что исследуемые ФЭП имеют наименьшее значение отражательной способности при 660-680 нм, которая резко возрастает при длине волны более 700 нм. Что, безусловно, ограничивает возможность разделения зарядов в спектре и приводит к снижению коэффициента полезного действия.

В общем случае вольт-амперная характеристика (ВАХ) – это зависимость тока, протекающего через электрическую цепь от напряжения, приложенного к этой цепи. В случае солнечной батареи эта характеристика рассматривается при наличии дополнительных условий, которые в мировой практике были стандартизированы и

применяются сейчас при проектировании всех подобных систем во всем мире. Согласно этим стандартам ВАХ солнечных элементов определяется при мощности излучения солнца равной 1000 ватт на один квадратный метр, при этом температура элементов должна быть равна +25 °С. В данной работе использовался Солнечный симулятор ORIEL Sol3A CLASS AAA. Результаты измерений и полученные графики ВАХ представлены в табл. 1 и на рис. 5.

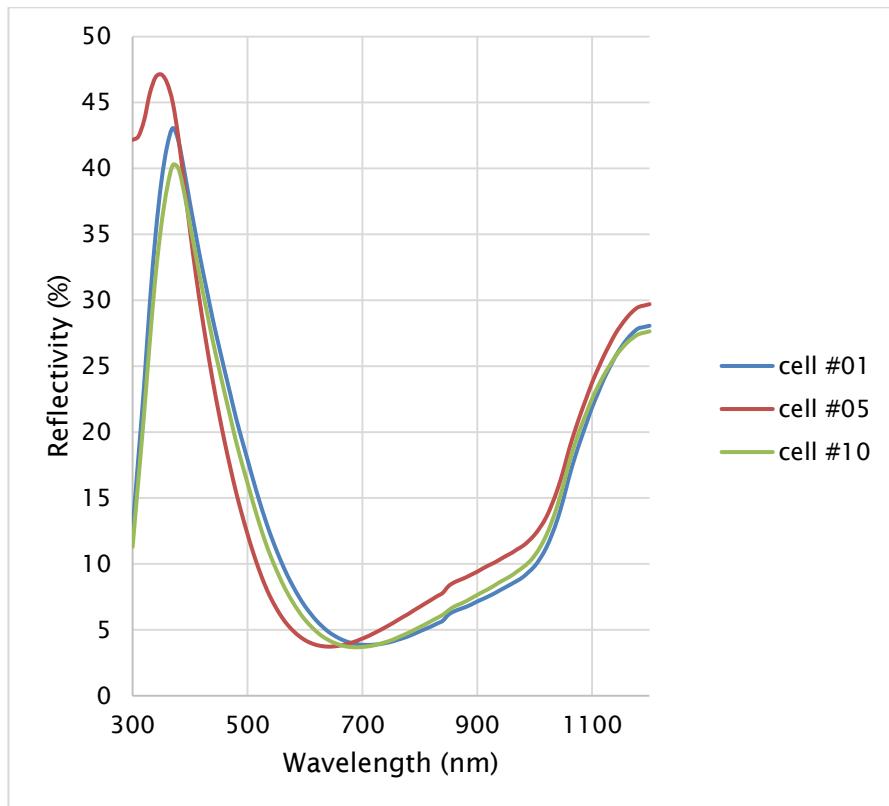


Рисунок 4 – Отражательная способность ФЭП на различных длинах волн

Таблица 1  
Электрические характеристики

Внутренний ID	Voc, [mV]	Isc [mA]	FF [%]	Pmpp [mW]	eta [%]
cell #01	608,78	31,561	78,123	3857,379	15,851
cell #02	612,622	31,062	76,105	3788,435	15,567
cell #03	610,715	31,674	76,47	3863,883	15,877
cell #04	607,994	31,706	77,273	3869,516	15,9
cell #05	606,694	31,496	77,546	3846,173	15,804
cell #06	609,721	31,793	77,601	3882,786	15,955
cell #07	609,757	31,81	76,91	3877,285	15,932
cell #08	606,466	31,776	77,163	3875,099	15,923
cell #09	612,052	31,751	77,436	3881,803	15,951
cell #10	612,596	31,253	75,047	3809,801	15,655
среднее	609,7397	31,5882	76,9674	3855,216	15,8415

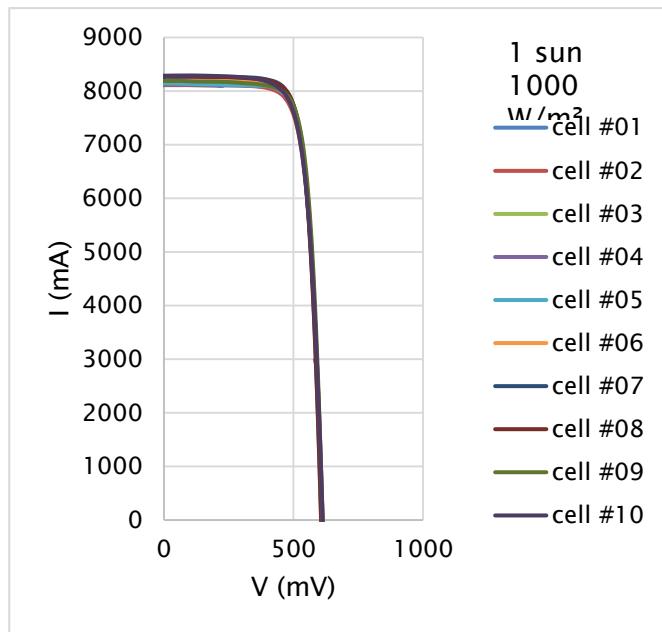


Рисунок 5 – Полученные ВАХ исследуемых образцов ФЭП

Таким образом, исследуемые образцы ФЭП казахстанского производства показали эффективность в диапазоне от 15,6÷15,9 %. Как было отмечено в [3], средняя эффективность ФЭП, изготавливаемых в мире на основе мультикристаллического кремния, достигает 19% в промышленных условиях, а в лабораторных - порядка 25%, поэтому повышение эффективности производимых на ТОО «Kazakhstan Solar Silicon» ФЭП, является актуальной задачей.

В то время как в прошлом большая часть исследований, направленных на увеличение эффективности ФЭП, проводилась на лицевой стороне элемента, в последнее время PV индустрия переместила свой фокус на тыльную сторону. Или, если быть точными, речь идет о пассивации тыльной стороны ФЭП и соответствующей модификации схемы металлизации. Эти довольно простые изменения, адаптированные к стандартному процессу производства ФЭП, дают право полученным кремниевым фотоэлектрическим преобразователям на новое имя – PERC, что означает пассивированный эмиттер и задний контакт. Также, мировые тенденции и мощности производимой энергии в 2016-2020 гг. сдвигаются в сторону PERC-технологии. Как было отмечено в [7], около 50% всей производимой солнечной энергии к 2020 году будет приходиться на PERC ФЭП. Поэтому переход от стандартной технологии Al-BSF (реализованной на ТОО «Kazakhstan Solar Silicon») на PERC-технологию является беспрогрышным вариантом развития солнечной энергетики в Республике Казахстан.

Структура PERC – это естественная прогрессия от стандартной структуры BSF (поле на тыльной поверхности). Электрические и оптические потери, приводящие к снижению КПД ФЭП, и описанные выше, могут быть исключены путем нанесения на тыльную сторону ФЭП дополнительного диэлектрического пассивирующего слоя. Данная концепция также относительно проста для внедрения в производство - в реализованную стандартную последовательность операций необходимо добавить всего 2-3 шага. Однако предлагаемая модификация линии по производству ФЭП приведет к значительному повышению

коэффициента полезного действия.

Известно [8], что рекордные значения эффективности в 22,04% (для мультикриSTALLических PERC-ФЭП, Jinco) и 23,95% (для монокристаллических PERC-ФЭП) получены не в промышленном масштабе. Однако график [8] отражает потенциал и прогресс данной технологии, как в мульти, так и в монокристаллическом направлении.

Производство PERC-ФЭП предполагает нанесение пассивирующего слоя на тыльную сторону ФЭП, который затем открывают с помощью лазера для формирования тыльного контакта. Описанные два дополнительных шага являются основными и наиболее важными для перехода со стандартной производственной линии (см. рисунок 6). Кроме того, необходимо оптимизировать этап удаления паразитного эмиттера и фосфор-силикатного стекла для полировки (травления) тыльной поверхности. Таким образом, за счет травления пирамидальной структуры с тыльной стороны, удаляется одна из текстурированных поверхностей. Как показано на технологической схеме, переход от стандартной технологии на PERC требует приобретение устройства для нанесения тыльного пассивирующего слоя и лазера.

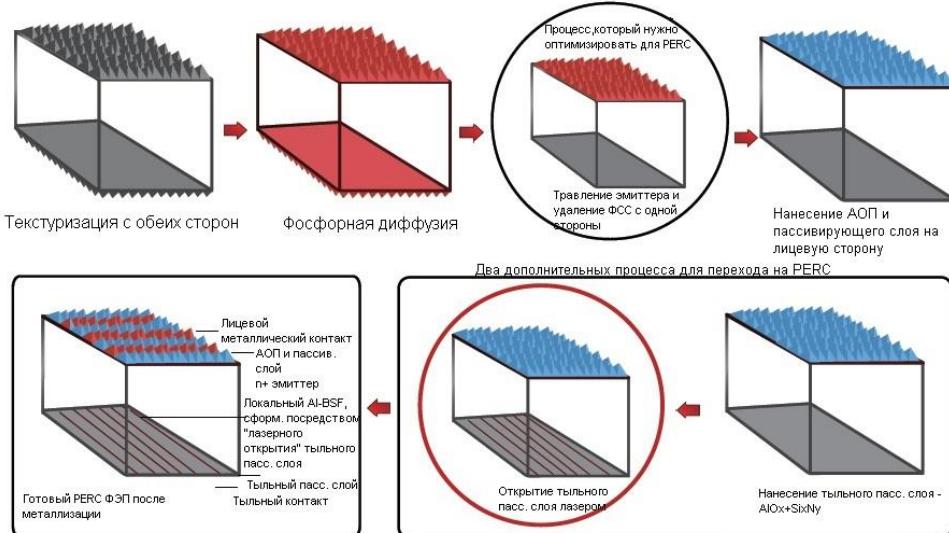


Рисунок 6 – Схема технологического процесса производства PERC-ФЭП в сравнении со стандартным процессом производства Al-BSF-ФЭП

На ТОО «Kazakhstan Solar Silicon» представлено оборудование для нанесения антиотражающего покрытия (нитрида кремния) TWYN PECVD. Процесс PECVD заключается в распаде химического элемента под влиянием плазмы и температуры на отдельные элементы в реакторе, которые затем оседают на поверхность пластины и вступают в химическую реакцию. В результате на лицевой поверхности пластины «выращивается» тончайшая пленка (до 80 нм) нитрида кремния, которая обладает требуемыми свойствами. В [8] показано, что возможна модификация оборудования PECVD для нанесения тыльного пассивирующего слоя ( $AlO_x+SixNy$ ), при этом общий принцип осаждения остается тем же. Самым простым способом для открытия тыльного пассивирующего слоя является использование лазерной технологии. На сегодняшний день на рынке фотовольтаической индустрии имеется большое количество лазерных решений, предлагаемых такими компаниями, как InnoLas Solutions, Rofin, 3D-Micromac, Schmid или Manz.

Таким образом, на ТОО «Kazakhstan Solar Silicon» возможен переход от AL-BSF-стандартной технологии производства ФЭП на новую PERC-технологию, что позволит предприятию повысить коэффициент полезного действия производимых фотоэлектрических преобразователей и быть конкурентоспособными на мировом рынке.

#### Список литературы

1. Department of Economic and Social Affairs. World population prospects: The 2018 revision, 2018.
2. US Energy Information Administration. International energy outlook 2018, 07 2018.
3. Плотников С.В. Исследование технологии производства фотоэлектрических преобразователей / С.В. Плотников, Д.А. Калыголов, И.А. Клиновицкая // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. – 2017. - № 4(78). – С. 67-73.
4. T. Trupke, B. Mitchell, J.W. Weber, W. McMillan, R.A. Bardos, R. Kroese Photoluminescence Imaging for Photovoltaic Applications // International Conference on Materials for Advanced Technologies 2011, Symposium O // Energy Procedia. – 2012. – 15. – p. 135-146
5. McMillan W, Trupke T, Weber J, Wagner M, Mareck U, Chou YC, Wong J. In-line monitoring of electrical wafer quality using photoluminescence imaging. Proc. 25th European Photovoltaic Solar Energy Conf., Valencia, Spain; 2010, p. 1347.
6. Johnston S, Yan FY, Zaunbrecher K, Al-jassim M, Sidelkheir O, Blosse A. Imaging study of multi-crystalline silicon wafers throughout the manufacturing process. Proc. 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conf., Seattle, USA; 2011.
7. <https://press.trendforce.com/press/20170119-2737.html>.
8. Taiyang News PERC Solar Cell Technology 2018.

Получено 17.04.2019

УДК 625.855.3 + 551.585.5(574)

#### М.К. Пшембаев

Министерство индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан,  
г. Нур-Султан

#### НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ (ПАРАДИГМА) СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С БЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ

*В статье рассматриваются вопросы рационального содержания автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями, связанными прежде всего с защитой поверхностного слоя покрытий от скользкости и образования на них коррозионных разрушений, особенно в переходные периоды года.*

*Мақалада ең алдымен жамылғының үстінгі қабатын тайғақтықтан қорғауға және оларда коррозиялық бұзылулардың пайда болуына, әсіресе жылдың өтпелі кезеңдеріне байланысты цемент-бетон жамылғылары бар автомобиль жолдарын ұтымды күтіп ұстай мәселелері қарастырылады.*

*The article deals with the rational maintenance of roads with cement concrete coatings, associated primarily with the protection of the surface layer of coatings from sliveriness and the formation of corrosion damage on them, especially in transitional periods of the year.*

**Ключевые слова:** автомобильные дороги, покрытие, коррозия, разрушение, содержание.

Технический уровень современных автомобильных дорог во многом определяется совершенством их дорожных одежд с покрытием высокого качества. Такими покрытиями в настоящее время являются цементобетонные, которые все шире применяются во многих странах мира вследствие их долговечности.

Вопросам проектирования и технологии строительства дорожных бетонных покрытий посвящено большое количество исследований, но несколько в стороне остаются пока вопросы их рационального содержания, связанные прежде всего с защитой поверхностного

слоя покрытий от скользкости и образования в нем коррозионных разрушений, особенно в переходные периоды года. Анализ литературы показывает, что поверхность дорожных бетонных покрытий недостаточно защищена от воздействия истирающих нагрузок колес тяжелого транспорта при одновременном влиянии погодно-климатических факторов. Такие процессы в совокупности с указанными приводят первоначально к интенсивному коррозионному микроразрушению поверхностного слоя покрытий (его износу, проявляющемуся в шелушении, образовании микротрещин) с последующим развитием макроразрушений структуры бетона в объеме полной толщины конструкции бетонного покрытия (образование значительных температурных трещин, ямочности). В связи с изложенным теоретический подход к решению проблемы рационального содержания бетонных покрытий в настоящей работе был подчинен решению трех основных взаимосвязанных задач:

- исследованию и расчету температурного режима бетонных покрытий (особенно их поверхностного слоя) с учетом влияния эксплуатационных факторов;
- исследованию и расчету температурно-напряженного состояния бетона в поверхностном слое покрытия и обоснованию его критической величины допустимости (с позиций ликвидации микротрещин);
- исследованию и разработке физико-химических мероприятий по защите бетонных покрытий путем кольматации, гидрофобизации и упрочнения их поверхностного слоя.

В работе [1] указанные задачи частично решены и намечены пути их дальнейшей реализации.

Эра бетонизации автомобильных дорог во всем мире продолжается. При этом осуществление устройства бетонных покрытий происходит поэтапно с апробированным алгоритмом. Технологи совершенствуют составы тяжелых дорожных бетонов путем введения в них различных добавок или активации отдельных компонентов (область физико-химических процессов). Конструкторы улучшают расчеты конструкций бетонных покрытий с позиции термодинамики их работы в составе дорожной одежды (область сопротивления материалов и строительной механики). Все указанные методологические приемы осуществляются на стадии проектирования и строительства бетонных покрытий. На эту тему выполнены десятки и сотни исследований, разработаны многочисленные нормативные документы: ГОСТы, ТУ, ведомственные рекомендации и инструкции. Традиционно при исчерпании прочностного ресурса бетонных покрытий, определяемого критическим пределом энтропийного разрушения структуры материала покрытия, свойства бетонных плит восстанавливают при их капитальном ремонте или деформированные плиты заменяют новыми в период реконструкции дороги. Однако очень мало исследований проведено в области сохранения бетонных покрытий при их эксплуатации в различных (региональных) погодно-климатических условиях. Систематизированных (теоретических и экспериментальных) исследований, посвященных проблеме содержания автомобильных дорог с бетонным покрытием, почти нет, имеются лишь фрагментарные прикладные аспекты общего характера, рассматриваемые в составе комплекса вопросов по содержанию автомобильных дорог в целом.

В работе [1] впервые сделана попытка теоретического и экспериментально-расчетного решения проблемы содержания не всей автомобильной дороги, а только отдельного элемента дорожной одежды - бетонного покрытия (новая парадигма). При этом такие покрытия позиционируются как самостоятельный объект исследования при воздействии на него эксплуатационных факторов внешней среды. Главной целью настоящего исследования является защита от разрушения бетонных покрытий в межремонтном периоде их содержания.

В работе сконцентрировано внимание на том обстоятельстве, что наибольшую эксплуатационную нагрузку, вызывающую постепенно изменения, приводящие к разрушению структуры бетонных дорожных покрытий, испытывает поверхностный слой бетона. В особой мере это имеет место при циклических воздействиях эксплуатационной (или испытательной) среды: замораживания-оттаивания, водонасыщения-высыпивания, много-кратно повторяющихся механических нагрузок, на что указывали ученые-бетоноведы (Ахвердов И.Н., Защепин А.Н., Киреев В.А., Глушков Ш., Фостер Д.А., Берг О.Я..., Грушко И.М., Москвин В.М., Ратинов В.Б., Шейнин А.Е., Шестоперов СВ., Schmidt E., Weil G., Westergaard H. и др.). Поэтому в данном исследовании задача по защите поверхностного слоя бетонных покрытий выделена как моноцентрированная и первоочередная. Для ее решения необходим анализ условий работы тонкого поверхностного слоя: его температурного режима и связанного с ним непосредственно температурно-напряженного состояния данного слоя.

Защита поверхностного слоя бетонных покрытий является комплексной проблемой, которая рассматривается с позиций системного анализа. Для ее решения необходимо соблюдать определенное граничное условие: проводить периодически мероприятия физико-химического направления по защите дорожных бетонных покрытий от скользкости и коррозионных разрушений. Все они должны быть включены в общий план традиционных сезонных работ по содержанию автомобильных дорог в целом.

В качестве исходной позиции при решении данной проблемы была принята известная концепция «вечных дорог», согласно которой отдельные основные элементы дорожной одежды остаются длительный (расчетный) срок постоянными, а защищающие их элементы (поверхностный слой) для выполнения своего функционального назначения периодически обновляются (по мере снижения своего ресурса).

Ниже рассмотрен расширенный комментарий новой концепции (парадигмы) содержания бетонных покрытий автомобильных дорог.

Традиционно установилось мнение, что содержание автомобильных дорог - это комплекс мероприятий по их круглогодичному уходу, включая дорожное полотно, придорожные сооружения и полосу отвода. Это, например, четко отражено в разработанных в Беларуси технических нормативных актах [2]. В данном случае объектом содержания являются все элементы дороги. Для этого разработан также перечень работ, устраняющий выявленные недостатки при содержании автомобильной дороги [3].

В соответствии с предлагаемой новой концепцией (парадигмой) содержания автомобильных дорог с бетонным покрытием развита теория перманентной защиты его поверхностного слоя. При этом из общего комплекса мероприятий по содержанию дороги в целом выделяется отдельно элемент дорожного покрытия – его поверхностный слой. Подчеркивается, что именно от его технического состояния и мероприятий по обеспечению его долговременного высокого качества значительно зависит безопасность и экономическая эффективность перевозок по дорогам с таким покрытием. В этом случае под термином «содержание дорожных бетонных покрытий» следует понимать «комплекс профилактических и технологических работ, осуществляемых в течение года (с учетом сезонов) по выявлению и устранению поверхностных коррозионных разрушений бетонных покрытий, а также целенаправленному предотвращению их развития, включая работы по прогнозированию и устранению скользкости бетонных покрытий».

Таким образом, объектом исследования является автомобильная дорога, а предметом исследования – содержание бетонных покрытий в условиях резко континентального климата Республики Казахстан.

Расчетными сезонами при эксплуатации бетонных покрытий являются нестабильные

температурные переходные периоды года - весна, осень и оттепели в зимнее время, стимулирующие появление мелких сеток трещин и гололедных явлений. Такой подход является своевременным и актуальным для резко континентального климата Республики Казахстан, поскольку массовое строительство и эксплуатация дорог с бетонным покрытием определены государством как один из важнейших приоритетов в стратегическом развитии экономики Республики Казахстан.

Новая концепция (парадигма) рационального содержания бетонных покрытий автомобильных дорог основана на следующих концептуальных положениях (общая гипотеза исследования):

- разрушение бетонного покрытия автомобильных дорог начинается с разрушения его поверхностного слоя; динамика этого процесса зависит от степени энергетического воздействия факторов внешней среды;
- основными факторами внешней среды являются высокие температуры воздуха летом, вызывающие перегрев покрытия и опасность коробления плит, а также появление при градиентном охлаждении зимой температурно-напряженного состояния слоя бетонного покрытия, стимулирующего образование в нем мелких трещин;
- информирование об изменяющихся факторах внешней среды, оказывающих влияние на бетонные покрытия автомобильных дорог, должно быть основано на простом методе, позволяющем оперативно (в режиме реального времени) получать информацию о стабильных природных явлениях и переменных параметрах погодно-климатической ситуации, в которой находится пространство с рассматриваемой дорогой в данный момент с учетом особенностей природных условий регионов Казахстана;
- обобщенным практическим решением проблемы рационального содержания бетонных покрытий автомобильных дорог является комплексная разработка системы контроля за их состоянием, превентивных мер предупреждения деструкции бетона покрытий и физико-химических методов защиты их поверхностного слоя от коррозионного разрушения и скользкости.

В настоящее время проблема расширенного строительства бетонных покрытий автомобильных дорог в суровых климатических условиях включает ряд нерешенных до конца задач, что сдерживает ее успешную реализацию и не дает гарантий избежать при этом непредвиденных затратных капиталовложений.

Главная причина заключается в недостаточности исследований по разработке научно-обоснованных эффективных методов эксплуатации бетонных покрытий на стадии их эксплуатационного содержания с учетом условий резко континентального климата.

Для решения указанной проблемы для условий Республики Казахстан необходимо решить следующие задачи:

- 1) разработать более совершенное дорожно-климатическое районирование территории Республики Казахстан, учитывающее особенности природных условий в каждом административном районе республики;
- 2) установить наиболее высокую и низкую температуры дорожных бетонных покрытий для прогнозирования их теплоустойчивости применительно к дорожно-климатическому районированию Республики Казахстан;
- 3) разработать методику расчета температурно-напряженного состояния бетонных покрытий в поверхностном слое для определения условий образования в нем микротрещин и их последующего развития;
- 4) теоретически и экспериментально обосновать составы и способы использования хи-

мических реагентов для защиты поверхностного слоя бетонного покрытия от коррозионного разрушения в условиях резко континентального климата;

5) теоретически и экспериментально обосновать применение химических реагентов для предотвращения скользкости бетонных покрытий в условиях резко континентального климата;

6) предложить усовершенствованную систему прогнозирования и применения превентивных и оперативных мероприятий по защите дорожных бетонных покрытий от поверхностной коррозии и скользкости в условиях резко континентального климата Республики Казахстан;

7) осуществить производственное внедрение результатов исследований и оценить эффективность мероприятий по рациональному содержанию дорожных бетонных покрытий при их эксплуатации в условиях резко континентального климата.

Результатом реализации приведенных задач должен стать научно-обоснованный комплекс мероприятий по обеспечению рационального содержания дорожных бетонных покрытий в условиях резко континентального климата, что в свою очередь обеспечит повышение их эксплуатационной надежности, долговечности и экономической эффективности.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Установлено, что в большинстве исследований, относящихся к проблематике автомобильных дорог с бетонным покрытием, рассматриваются либо вопросы их проектирования, либо строительства. Принципиально новых системных исследований по научному обоснованию содержания бетонных покрытий в послепостроочный период практически нет, а имеющиеся носят общий утилитарный характер;

2. Необходимо учитывать, что при использовании расчетных характеристик дорожных бетонных покрытий на несущие нагрузки (зачастую с большим запасом) основной объем дефектности связан с деструкцией относительно небольшого по толщине верхнего слоя бетона – слоя «качения и износа». Детальное рассмотрение его работы в условиях рационального содержания эксплуатируемых автомобильных дорог с бетонным покрытием в литературе отсутствует, что представляет отдельную значительную проблему исследования.

3. Сформулирована новая концепция (парадигма) содержания автомобильных дорог с бетонным покрытием. Она заключается в том, что впервые с целью решения задач по повышению их долговечности и надежности в период эксплуатации рассматривается проблема рационального содержания не автомобильной дороги в целом, а отдельного элемента ее дорожной одежды – бетонного покрытия. При этом основная направленность исследований посвящена достаточно тонкому верхнему (рабочему) слою бетонного покрытия, который непосредственно воспринимает воздействие погодно-климатических факторов и механических (транспортных) нагрузок.

#### Список литературы

1. Пшембаев М.К. Содержание бетонных покрытий автомобильных дорог в условиях резко континентального климата Республики Казахстан. – Минск.: БНТУ, 2019. – 254 с.
2. ТКП 366-2012 (02191). Автомобильные дороги. Правила содержания. Департамент «Белавтодор» Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. – Минск.
3. ТКП 069-2011 (02191). Автомобильные дороги. Классификация и состав работ по текущему ремонту и содержанию. Департамент «Белавтодор» Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. – Минск.

Получено 17.04.2019

## МФТАА 20.23.25

**И.М. Увалиева, С.А. Бельгинова**

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен қ.

**ДЕНСАУЛЫҚ САҚТАУ ҚОРСЕТКІШТЕРІН АНАЛИТИКАЛЫҚ ӨНДЕУ ЖҮЙЕСІНІҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ МОДЕЛІН ЖӘНЕ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖАСАҒЫН ҚҰРУ**

Мақалада медициналық деректерді өндеудің ақпараттық-аналитикалық жүйесінің контекстік және функционалдық моделдері сипатталған, сонымен қатар бағдарламалық іске асырылуы берілген. Қазіргі заманда медициналық деректерді өндеуде ақпараттық технологияларды қолдану өзекті мәселе болып табылады.

В статье описаны контекстная и функциональная модели информационно-аналитической системы обработки медицинских данных, а также их программная реализация. В современном мире использование информационных технологий в обработке медицинских данных является актуальной проблемой.

*The article describes the context and functional models of information analytical system of medical data processing, as well as their software implementation. In the modern world, the use of information technology in the processing of medical data is an urgent problem.*

**Түйінді сөздер:** ақпараттық-аналитикалық жүйе; контекстік модель; функционалдық модель; медициналық деректер; ақпараттық ағым.

Қазіргі заманда ақпараттық технологиялар жылдам дамуда. Оның өзі түрлі салаларды, соның ішінде медицина саласындағы түрлі қызметтерді үйімдастыруға, басқаруды жақсартуға мүмкіндіктер ашып отыр. Бұл үрдістің іске асуының негізгі шарттарының бірі – ақпараттық-аналитикалық жүйелерді енгізу болып табылады. Ақпараттық-аналитикалық жүйелерді қолдану барысында аналитикалық қызметтер мен түрлі қосымша ақпараттық құралдар белсенді түрде дамуда [1-4].

Кез келген ақпараттық-аналитикалық жүйенің белгілі бір параметрлері мен жүйелік функциялары болуы керек. Олар:

- 1) алынған деректерді аналитикалық өндеудің құралдары;
- 2) деректері аналитикалық өндеуге жіберілетін ақпараттық қор;
- 3) ақпаратты өндеу саласында пайда болатын мәселелерді шешуге қажетті нақты ережелер жиынтығы;
- 4) қолданушыларға ақпараттық-аналитикалық жүйемен қатынас жасауға мүмкіндік беретін программалық-техникалық кешен.

5) деректерді бейнелеуге, түрлі кеңестер мен ұсыныстар беретін модульдік функционал.

Сондықтан, қарастырылып отырған жұмыстың мақсаты – мемлекеттік деңгейде халықтың өмір сүру сапасы мен денсаулықты сақтау жүйесі үдерісін ақпараттық-аналитикалық қолдаудың үйімдастырушылық және функционалдық моделін ғылыми негіздеу болып табылады.

Аналитикалық жүйенің жұмыс істеу үрдісін, бизнес-процесін жобалау модельдеудің қуатты құралы – BPwin бағдарламасы қолданылды. BPwin үлгілері бизнес-процестерді түсінуге және түрлі оқиғалардың әсерін бағалауға, сондай-ақ үйімдағы процестер мен ақпараттық ағындардың өзара әрекеттесуін сипаттауға негіз береді. Тиімді емес, жоғары құнды немесе артық әрекеттер оңай анықталып, үрдістің жалпы мақсаттарына сәйкес жетілдіріледі, өзгертиледі немесе жойылады [5].

Аналитикалық жүйенің жұмысын түпкілікті түрде жүзеге асыруды тиімді басқару үшін интеллектуалды аналитикалық жүйені модельдеуге қойылатын функционалдық

талаптар стратегиялық талдау, көрсеткіштер жүйесін құру және арнайы аналитикалық жүйе үшін оларды жинау және бағалау әдістері мен ережелерін анықтаудан кейін қалыптастырылады.

Бұл жұмыс дәстүрлі ұйымдастырушылық және функционалды құрылымдау әдістерін қолдана отырып жүргізіледі. Интеллектуалды аналитикалық жүйені модельдеу үшін функционалдық талаптар жүйенің ұйымдық және функционалдық құрылымының негізгі компоненттеріне қатысты талдануы мүмкін. Атап айтқанда, интеллектуалды аналитикалық жүйені модельде функционалды түрде мыналарды қамтамасыз етуі керек:

- жағдайдың реттелген стратегиялық талдауын, тиімділікті бағалау көрсеткіштері мен критерийлерін құру;

- денсаулық сақтау көрсеткіштерінің тіркелуі жүйесін қадағалау және талдау;

- көрсеткіштердің әр жіктемелері бойынша салыстыру талдамасын жүргізу;

- ақпаратты жинауды, жинақтауды, сақтауды үйлестіру және ұйымдастыру (соның ішінде деректер қоймалары мен әдістерін пайдалану);

- интеллектуалдық ақпараттық технологияларды және статистикалық деректерді өңдеу құралдарын (мәтіндер, диаграммалар, графиктер, суреттер, семантикалық желілер түрінде ұсынылған) пайдалануды қамтамасыз ету және т.б.

Бағдарламалық қамтамасыз ету құрамы мен оның ғылым мен өндірістің заманауи талаптарына сәйкестігін қамтамасыз ету үшін біз үрдістің контекстік моделін және де төрт ішкі үрдістен тұратын денсаулық сақтау жүйесін жабдықтауды талдау және жоспарлаудың функционалдық моделін ұсынамыз.

Ақпараттық-аналитикалық жүйенің контекстік моделі 1-суретте көрсетілген.



1-сурет – Ақпараттық-аналитикалық жүйенің контекстік моделі

Үрдістің кіріс ақпараттық ағыны:

1. Демографиялық статистикалық көрсеткіштер – Қазақстан Республикасының облыстар бойынша 2006-2016 жылдар аралығындағы көрсеткіштер жиыны (халық саны, халық өсімі, өлі тұғандар саны т.б.).

2. Халықтың экономикалық жағдайының статистикасы – Қазақстан Республикасының облыстар бойынша 2006-2016 жылдар аралығындағы халықтың тұрмыс жағдайын сипаттайтын көрсеткіштер жиыны (ақшалай табыс, жұмыспен қамтылу, жұмыссыздық т.б.).

3. Денсаулық сақтау көрсеткіштері статистикасы – Қазақстан Республикасының облыстар бойынша 2006-2016 жылдар аралығындағы денсаулық сақтауға қатысты көрсеткіштер жиыны (науқастар саны, облыстардың аурухана жабдықтарымен қамтылуы, емделіп шыққандар саны, шипажайлар саны және т.б.).

Үрдістің шығыс ақпараттық ағыны (нәтижелер):

1. Есеп-хаттар – әртүрлі статистикалық шешімдерді көрсететін, жылдық немесе өзге мерзімдік статистикалық құжат.

2. Басқаруыш шешімдер – бұл денсаулық сақтауда талдаудың, болжам жасаудың, онтайланырудың, экономикалық негіздеудің және басқарудың нақты жүйесі мақсаттарына қол жеткізу үшін түрлі нұсқалардан балама тандаудың нәтижесі.

3. Графиктер – денсаулық сақтау көрсеткіштерін интеллектуалдық талдау нәтижелерінің көрнекі түрі.

4. OLAP нәтижелері – көпөлшемді денсаулық сақтау көрсеткіштері деректері массивінде әртүрлі сұраулар нәтижелері.

Үрдісті басқару нормативтері ретінде: мемлекет халқының жағдайын жақсарту мақсатындағы КР елбасының жолдауы, оның ішінде «Саламатты Қазақстан», «Стратегия Қазақстан 2050», е-денсаулық сақтау концепциясы, статистикалық, болжамдық шешімдер алу үшін арналған әр түрлі статистикалық әдістер, деректерді интеллектуалдық талдау әдістері.

Үрдісті орындаушылар құрамына ең біріншіден дәрігер кіреді. Ол денсаулық сақтау жүйесіндегі көптеген статистикалық көрсеткіштерді тіркеуші, бекітуші болып табылады. Сонымен қатар бұл құрамға статист жатады. Статист деректерді жинақтау, тіркеу, жалпы есептерді жүргізу қызметін атқарады.

Орындаушылар құрамдағы маңызды қызметтерді атқаратындардың тағы бірі аналитик және шешім қабылдаушы. Олар жинақ деректерін өндеп, талдамалар жасап, түрлі маңызды шешімдер, болжамдар жасайды.

Үрдістің декомпозициясының диаграммасы 4 ішкі үрдісті қамтиды (2-сурет).

Бірінші ішкі үрдіс алынған, жинақталған деректерді тіркеуді ұйымдастыруды қамтамасыз етеді.

Екінші ішкі үрдіс деректерге статистикалық әдістерді қолдана отырып, талдау жасауды жүзеге асырады.

Үшінші ішкі үрдіс деректерді интеллектуалдық талдау әдістерін пайдаланып, өңдеу, болжам жасау, занылыштарды анықтау сияқты әрекеттерін орындаиды.

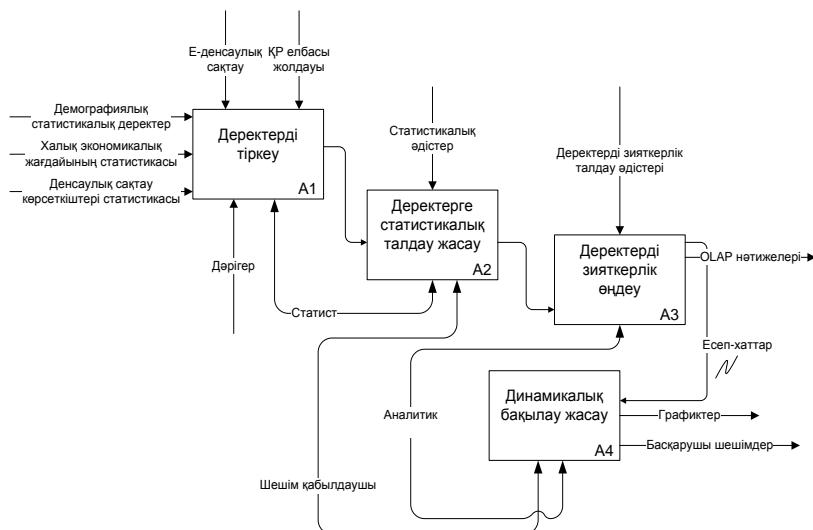
Соңғы ішкі үрдіс – ол статистикалық деректерге динамикалық бақылау жасау. Бұл үрдісте алдаңғы үрдіс нәтижелері жинақталып, шешімдер қабылданып, қорытынды шығарылады.

Халық денсаулығын сақтау көрсеткіштерін басқару үшін ақпараттық-аналитикалық жүйе құру кезінде функционалдық, инфологиялық және басқа модельдерді дұрыс әзірлеу өте маңызды. Оның негізінде бағдарламалық қамтамасыз ету мен ақпараттық қолдау жасалынады.

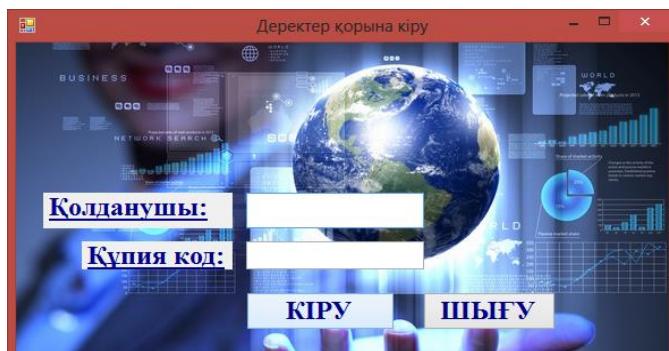
Денсаулық сақтау көрсеткіштерін интеллектуалдық өңдеу технологиясын құру негізі – ол сапалы, нақты деректерді жинақтау болып табылады. Осы мақсатта ең алдымен статистикалық мәліметтерді жинақтауға арналған бағдарлама құрылды.

Бағдарлама «Visual Studio 2012» бағдарламалу ортасында жасақталды [6]. Бағдарлама деректерге коллежтімділікті қамтамасыз етеді. Бағдарламаға кіру үшін қолданушы өзінің аты мен құпия кодты (3-сурет) енгізуі керек.

«Кіру» батырмасын басу арқылы бас мәзірге, яғни «Денсаулық сақтау көрсеткіштерінің деректер қоры» терезесіне өтуге болады.



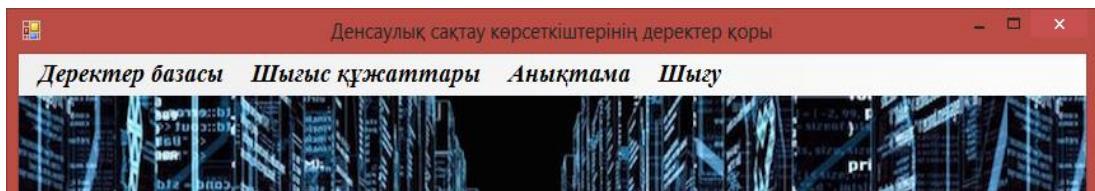
2-сурет – Ақпараттық-аналитикалық жүйенің функционалды моделі



### 3-сүрет – Авторизация терезесі

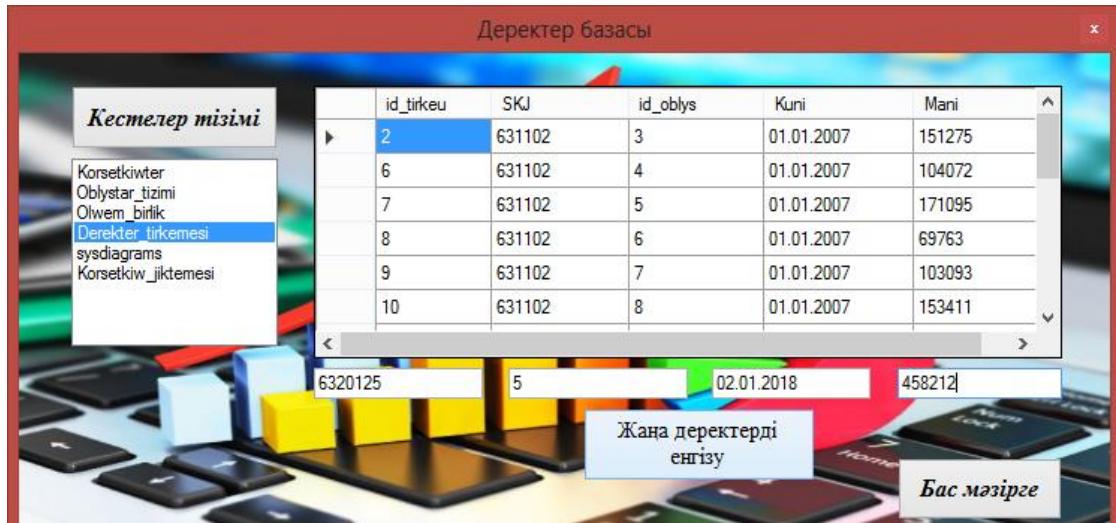
Бас мәзір қосымша «Деректер базасы», «Шығыс құжаттары», «Анықтама», «Шығу» ішкі мәзірлерінен тұрады.

«Денсаулық сактау көрсеткіштерінің деректер коры» терезесі көрінісі 4-суретте көрсетілген.



#### 4-сүрет – Бас мәзір терезесі

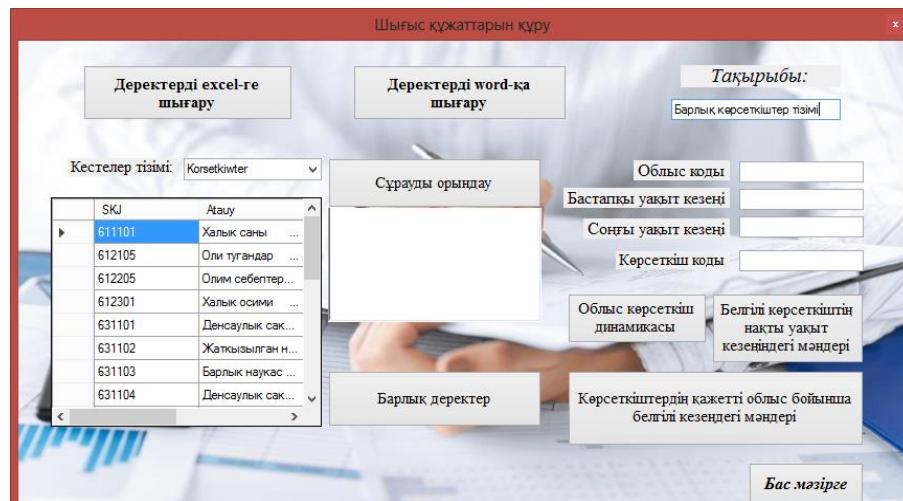
«Деректер базасы» мәзірі (5-сурет) денсаулық сақтау көрсеткіштері сақталатын деректер қорына қол жеткізуге және де оған жаңа деректерді енгізуге мүмкіндік береді.



5-сурет – «Деректер базасы» мәзірі

«Кестелер тізімі» батырмасы базадағы кестелерге қол жеткізу, ал «Жаңа деректерді енгізу» батырмасы жаңа жазбаларды енгізу қызметін атқарады [7, 8]. Кесте астындағы әрбір өріске сәйкес деректерін енгізіп, астындағы батырманы басу арқылы орындалады.

Келесі «Шығыс құжаттары» мәзірін (6-сурет) тандау арқылы өндеуге қажетті деректерді таңдаپ, Excel, Word сияқты құжаттарға жібере аламыз. Ондағы батырмалар көмегімен жиі қолданылатын сұрауларды: бір облыстың кез келген қызықтыратын көрсеткіш динамикасын бақылау, белгілі көрсеткіштің немесе қажетті облыс бойынша нақты уақыт кезеңіндегі мәндері, барлық деректер сұрауларын орындаі аламыз. Сонымен қатар сұрауды қолмен енгізіп те қажет мәліметтерге қол жеткізуге болады.



6-сурет – «Шығыс құжаттары» мәзірі

«Шығыс құжаттары» мәзірі өзі «Есеп-хат» ішкі мәзірінен тұрады. Оның өзі «1» және «2» мәзірлерінен тұрады. Оның қызметі: деректерден есеп дайындау, нәтиже алу,

деректерді диаграмма, кесте және басқа да сыйбалар арқылы көрсету, түрлі есептеулер жүргізу.

Есеп-хаттар әзірлеу CrystalReports есеп берулер генераторы көмегімен құрылды. Оған жалпылау тоқталып өтсек CrystalReports есеп берулер генераторы жеке пакет түрімен қатар, VisualStudio-да ықпалдастырылған .NET кітапханасы түрінде қызмет етеді.

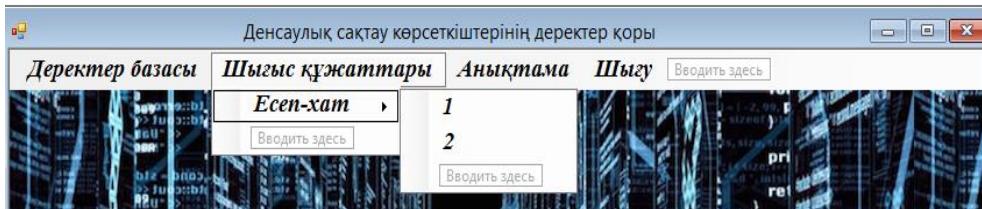
Өндірушімен келісім бойынша Microsoft компаниясы осы пакетті CrystalReports.NET технологиясы бойынша есеп берулерді қалыптастыру машинасы ретінде стандарттады, оның ішіне келесілер кіреді:

- ReportDesigner есеп берулердің құрамдас конструкторы, оны есеп берулер файлдарын (\*.rpt) құрастырганда пайдалануға, кейіннен оларды құрастырылатын қосымшаға құрамдауға болады;
- Windows FormsViewer қарастыру модулі, оны есеп берудің мазмұнын икемді басқаруы бар қосымшаға құрамдалған есеп берулерді алдын ала қарастыру үшін пайдалануға болады;
- Windows FormsViewer қарастыру модулінің функционалдығы Web FormsViewer қарастыру модулінің функционалдығы сияқты, бірақ Web-қосымшаларға қолданылады;
- генератор ядроны немесе ReportEngine есеп берулерді қалыптастыру машинасы (CrystalDecisions.CrystalReports.Engine.dll, CrystalDecisions.Shared.dll) және басқа кітапханалары кластарының жиынтығы), ол есеп берулердің ең егжей-тегжей аспектілерін оларды қарастыру модуліне немесе баспаға тапсырылған алдында бағдарламалауға мүмкіндік береді;
- CrystalEnterprise есеп берулерді жоспарлау және үлестіру есеп берулерді пайдаланушылардың көп санына жіберу мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

VisualStudio .NET үшін CrystalReports пакеті құрастырудың өз ортасы үшін аспаптық құралдардың компоненттеріне қуатты қосымша болуда. ReportsDesigner есеп берулер конструкторының көмегімен VisualStudio .NET өзінің графикалық режимінде есеп берулерді құрастыруға және түрлендіруге, ал құрастырылған модульдердің көмегімен жобаға есеп берулерді жөніл ықпалданыруға және Windows немесе Web-қосымшалардың қажетті функционалдығын алуға болады.

Crystal Reports.NET технологиясы тікелей ADO.NET технологиясымен байланысты. CrystalReports.NET әртүрлі деректер көзінде қатынау үшін DataSet объектісіне (бірүлгіленген немесе бірүлгіленбеген) кез келген тапсырылған есеп берудің генерациясы үшін көз ретінде жүргіні мүмкін.

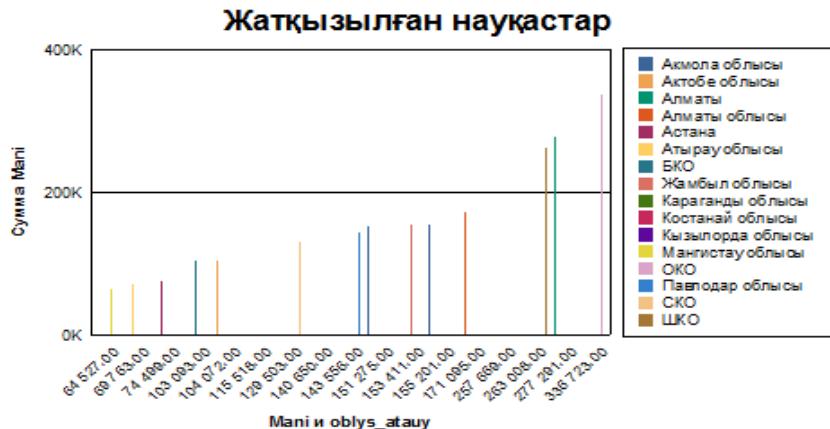
CrystalReports есеп берулер мәзірі 7-суретте көрсетілген.



7-сурет – Есеп-хат мәзірі

Мұнда есептер дайын нәтижелер арқылы немесе кестелерден өрістерді өздігінен таңдау арқылы құруға болады. Сонымен орай әр өріс үшін түрлі алгебралық функцияларды тағайындаپ, өрістер бойынша қорытындылар алуға немесе белгілі заңдылықпен реттеп көрсетуге болады.

Есеп-хаттың диаграмма түріндегі мысалы 8-суретте көлтірілген.



8-сүрет – Жатқызылған науқастар бойынша диаграмма көрінісі

Деректерді интеллектуалдық өндеу, заңдылықтарды анықтау, талдау жасау, онтайлы зерттеу әдісін таңдау үшін «Deductor Studio Academic» аналитикалық платформасы таңдалды.

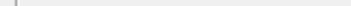
Алға қойылған тапсырмаларды орындау үшін, яғни нақты заңнамаларды анықтау үшін, нақты әдіс таңдаудың негізін қалыптастыру керек. Деректерді интеллектуалды таңдау әдістері, керекті және жасырын жатқан ақпараттарды анықтауға мүмкіндік береді. Осы анықталған ақпараттар маркетингтік нәтижелерді басқа ары қарай қолдануға мүмкіндік жасайды.

Деректермен жұмыс кезінде келесідей жұмыстар орындалды:

- деректерге тазарту жасау;
  - жасырын ақпараттарды аныктау;
  - ұмытылып кеткен деректерді енгізу.

Бағдарлама көмегімен тұрғындардың өмір сүру деңгейін бағалау үшін оңтайлы модельдер мен оңтайлы әдістер анықталды [9].

Сол әдістердің ең тиімдісі және де шешім қабылдауға ыңғайлысы ретінде корреляциялық талдау әдісі алынды. Халық санының корреляциялық матрицасы 9-суретте көлтірілген.

Входные поля		Корреляция с выходными полями	
№	Поле		
1	Оли_түгандар		-0,419
2	Олим_ауыр_санатына_карай_олг...		-0,910
3	Халық_осими		0,963
4	Табыс		0,953

9-сүрет – Халық саны коэффициенті үшін корреляциялық матрица

Корреляция матрицасының Шығыс Қазақстан облысы деректері негізінде талдамасы халық саны табыс мөлшеріне тікелей, тығыз байланысты екенін көрсетеді. Сонымен қатар өлімнің негізгі санатына қарай өлгендер саны артуы халық санына өте үлкен әсер ететінін көреміз. Осы әдісті басқа да көрсеткіштерге (10-сурет) қолданып, қандайда бір шешімдер алуға болады.

Входные поля		Корреляция с выходными полями	
N <sup>o</sup>	Поле	Негизги_класс_бойынша_олгендер	оли_тугандар
1	Жаткызылган_наукастар_саны	-0.024	-0.626
2	ДСУ_куаттылығы	-0.531	-0.288
3	Даригерлер_саны	-0.664	-0.706
4	Орта_табыс	-0.500	-0.737

10-сурет – Өлімнің негізгі класы бойынша өлгендер және өлі тугандар көрсеткіштері үшін корреляция матрицасы

Екінші тәсіл ол кластеризация әдісін пайдалану арқылы Кохен картасын құра отырып, заңнамаларды айқындау. Бұл өндегіш ірі деректер жинақтарында заңдылықтарды табу үшін пайдаланылады. Бұл классикалық статистикалық процедуралардан ерекшеленетін талдау әдісі болып табылады.

Озін-өзі үйымдастыру карталарының жұмыс істеу алгоритмі - топологиялық ұқсастығын сақтай отырып, проекциялық алгоритм құратын көп өлшемді векторларды кластерлеу нұсқаларының бірі.

Алгоритмнің негізгі артықшылықтары:

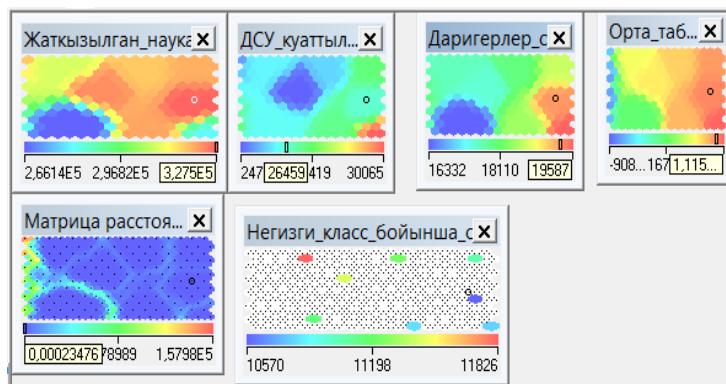
- шулуы деректерге төзімділік;
- жылдам және бақыланбайтын оқыту;
- көп өлшемді енгізу деректерін бейнелеу мүмкіндігі.

Кохен өзін-өзі үйымдастыру карталарының артықшылығы арнайы оқыту әдісін қолдануды қажет етпеуінде, яғни оқытудың нәтижесі тек кіріс деректерінің құрылымына байланысты.

Корреляциялық байланысты іздеуден кейінгі заңнамаларды нақтылы екеніне көз жеткізуіміз үшін басқа модельдермен тексеру жасаймыз. Заңнамаларды кіріс деректері арқылы тазарту жасап, деректерді алдын-ала дайындаудан өткеннен соң ғана Кохен картасы арқылы талдау жасай аламыз.

Бірінші тапсырма ол – негізгі клас бойынша өлгендерді кластерлерге бөлу. Деректерді импорттаганнан соң өндеу мастерін басып, алгоритм Кохен картасын таңдаймыз. Негізгі клас бойынша өлгендер бағанына- шығыс дерегін орнатамыз, ал кіріс деректеріне – орта табыс, денсаулық сактау үйымының қуаттылығы, дәрігерлер саны, жаткызылған науқастар санын белгілейміз.

Екінші тапсырма көптеген деректерді оқытылатын және тестілі кезеңдерге бөлу, бағдарлама өзі автоматты түрде кездейсоқ таңдап алсын деп белгілейміз. Кохен картасының көмегімен шыққан нәтиже 11-суретте көрсетілген.



11-сурет – Кохен картасының көмегімен шыққан модель

Кохен картасының нәтижесін келесідей түсіндіруге болады: кластерлерге бөлу арқылы негізгі класс бойынша, яғни аурудың ауыр түрімен ауыргандар санына денсаулық сақтау үйімі қуаттылығы мен дәрігерлер саны айтартылғанда әсер ететіні шықты. Ал басқа факторларды екінші кезеңде түрады.

Интеллектуалдық зерттеу нәтижелерін қорыта келе бұдан өлімнің негізгі классы бойынша өлгендер және өлі тұгандар көрсеткіштері денсаулық сақтау үйімдары қуаттылығы, орта табыс мөлшері, дәрігерлер саны көрсеткіштерімен көрінісін көреміз. Яғни бұл кіріс көрсеткіштерінің артуы аз мөлшерде болсын шығыс дерекке әсерін тигізетінін айтуға болады.

Жоғарыда айтылғандарды негізге ала отырып, келесідей қорытындыға келуге болады: жүргізілген ғылыми зерттеу жұмысының аясында ғылым мен өндірістің заманауи талаптарына сәйкестігін қамтамасыз ететін медициналық деректерді өңдеудің ақпараттық-аналитикалық жүйесінің контекстік моделі мен төрт ішкі үрдістен тұратын функционалдық моделі ұсынылды және статистикалық мәліметтерді жинақтауды, өңдеуді және талдауды үйімдастыратын программалық қамтама құрылды.

Деректерге корреляциялық талдау жасалып, кластеризация әдісін пайдалану арқылы Кохен картасы құрылды, заңнамалар айқындалды.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Безнос О.С. Разработка методического аппарата для создания медицинской информационной системы лечебного учреждения // Кубан. гос. технол. ун-т. - Краснодар, 2008. – 191 с
2. Гусев А.В. Рынок медицинских информационных систем: обзор, изменения, тренды // Врач и информационные технологии. – 2012. – Вып. 3.
3. Свердлов Ф.Ю. Проблема информатизации лечебно-профилактических учреждений РФ (на примере ЛПУ г. Москвы) // Врач и информационные технологии. – 2014. – Вып. 4.
4. Когаленок В.Н. Проблемы внедрения медицинских информационных систем автоматизации учреждений здравоохранения. Комплекс программных средств «Система автоматизации медико-страхового обслуживания населения» / В.Н. Когаленок, З.Г. Царева, С.А. Тараканов // Врач и информационные технологии. – 2012. – Вып. 5.
5. Репин В.В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В.В. Репин, В.Г. Елиферов. – М.: Манн, Иванов и Фрбер, 2013. – 544 с.
6. Троелсен Эндрю. Язык программирования C# 2010 и платформа .NET 4.0, 5-е шығарылым: ағл. Аударма. – М. : ООО "И.Д. Вильяме", 2011.
7. Эндрю Троелсен. Язык Программирования C#2010 и платформа .NET 4.0 = PRO C# 2010 AND THE .NET 4 PLATFORM. – 5-е издание. – Москва • Санкт-Петербург • Киев: «Вильямс», 2011. – С. 1392.
8. Troelsen A., Japikse P. C# 6.0 and the .NET 4.6 Framework. – Apress, 2015.
9. Data mining approach to policy analysis in a health insurance domain / Young Moon Chae, Seung Hee Ho, Kyoung Won Cho et al. // International journal of medical informatics. 2001. V. 62. № 2. pp. 103-111.

Қабылданды 17.04.2019

---

МРНТИ 87.53.13

**В.Л. Юрлов, Г.К. Даумова, Ж.К. Идришева, О.А. Петрова**

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

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА СМЕСИ МАСЛОСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

*В статье представлены результаты экспериментальных исследований по получению смеси шламов с различными добавками, повышающими эффективность работ при проведении рекульти-*

вации. Исследованы влагосодержание, пластичность и плотность получаемых смесей. В качестве оптимального состава со шламом рекомендованы цеолиты Тайжузгенского месторождения, смесь шламов с которыми обладает большей плотностью, пластичностью, стабильностью и возможностью применения в сложных гидрогеологических условиях.

Мақалада рекультивация жұмыстарын жүргізу кезінде тиімділігін жоғарылататын әртүрлі материалдардан шлам қоспаларын алу бойынша эксперименттік зерттеулердің нәтижелері көлтірілген. Алынған қоспалардың ылғал мәлшері, пластикалығы және тығыздығы зерттелген. Шламмен қосылатын оңтайлы құрам ретінде жоғары тығыздыққа, пластикалығына, тұрақтылығына және күрделі гидрогеологиялық жағдайларда қолдану мүмкіндігіне ие шлам қоспасындағы Тайжузген кен орнының цеолиттері ұсынылды.

*Results of experimental research on receiving mix of sludge with various additives increasing efficiency of works when carrying out recultivation are presented in article. The moisture content, plasticity and density of the received mixes are investigated. As optimum structure with sludge zeolites of the Tayzhuzgensky field, mix of sludge with which has the bigger density, plasticity, stability and a possibility of application in difficult hydrogeological conditions, are recommended.*

**Ключевые слова:** маслосодержащие шламы, суглинки, известь, цемент, зола, бентонитовые глины, цеолиты, рекультивация.

В ходе реализации земляных работ на шламонакопителе механическое смещивание жидкой фазы в реальных условиях полевых работ не достигает требуемого впитывания маслосодержащих шламов грунтом, а происходит расслаивание твердых материалов грунта и жидкой составляющей шлама с осаждением первой в донную часть шламонакопителя и скопления на поверхности жидкотекущей фракции маслосодержащего отхода. Данный факт снижает эффективность выполнения работ по смещиванию жидких фракций шламов с грунтами и стабилизации шламов местными суглинками, а также усложняет работу технических средств на объекте при проведении его рекультивации.

Для определения возможности повышения эффективности смещивания шламов шламонакопителя со стабилизирующими материалами и определения оптимального состава смеси для стабилизации шламов как при выполнении земляных работ на объекте, так и последующего содержания шламов на участке временного хранения до последующих этапов утилизации были проведены лабораторные испытания по смещиванию шламов и различных стабилизирующих материалов.

Мерный объем шлама смещивали в лабораторных условиях со стабилизирующими материалами в различных комбинациях их разновидности и соотношений их объемов. При необходимости материалы измельчали. Затем смещивание выбранных соотношений и материалов вели в укрупненно-лабораторных масштабах.

От полученной смеси кольцевым методом отбирали необходимую часть материала и подвергали испытаниям на стенде ПЛЛ (полевая лаборатория Литвинова) с выдерживанием образца под давлением, создаваемым в соответствии с нормативным графиком нагружения для получения физических параметров, по которым затем рассчитывали исключую величину. Испытания вели в несколько последовательных стадий.

На первой стадии проводили смещивание шлама с известью, шлама с цементом, шлама с суглинком, шлама с золой, а также смеси в различных сочетаниях этих компонентов.

Для испытаний были приняты соотношения материалов, приведенных на рис. 1-5. Результаты испытываемых соотношений приведены в табл. 1.

Результаты физико-механических свойств шламов со стабилизирующими материалами приведены в табл. 1, из которой видно, что образец шлам:цемент:зола с соотношением 1:0,5:1 обладает более высокой плотностью, а значит и устойчивостью, чем остальные образцы.



Рисунок 1 - Шлам:суглинок с соотношением 1:2

Конечный материал пластичный. Форму держит стабильно.



Рисунок 2 - Шлам: известь с соотношением 1:1,5

Конечный материал текучий, пластичный, форму держит слабо. По прошествии 12 часов стабильно держит форму.



Рисунок 3 - Шлам:цемент:зола с соотношением 1:0,1:1

Конечный материал вязкий, пластичный. Держит форму при выкладывании на плоскую поверхность.



Рисунок 4 - Шлам:цемент:зола с соотношением 1:0,2:1

Конечный материал текучий, пластичный, форму держит слабо. По прошествии 12 часов стабильно держит форму.



Рисунок 5 - Шлам:цемент:зола с соотношением 1:0,5:1

Конечный материал вязкий, пластичный, форму держит стабильно. По прошествии 12 часов имеет тенденцию к затвердеванию.

Таблица 1

*Результаты физико-механических свойств материалов*

№	Принятые материалы	Влагосодержание исходного материала для подмешивания, %	Крупность помола исходных материалов, мкм	Соотношение материалов	Влагосодержание конечной смеси, %	Плотность, кг/см <sup>3</sup>
1	Шлам:суглинок	суглинок-14,5	-	1:2	24,7	1,34
2	Шлам:известь	известь -0,2	известь -0,5	1:1,5	7,5	0,7
3	Шлам:цемент:зола	зола-1,2 цемент-0,1	зола-0,1 цемент-0,1	1:0,1:1	31,4	1,4
4	Шлам:цемент:зола	зола-1,2 цемент-0,1	зола-0,1 цемент-0,1	1:0,2:1	32,5	1,4
5	Шлам:цемент:зола	зола-1,2, цемент-0,1	зола-0,1 цемент-0,1	1:0,5:1	21,3	1,5

Во второй стадии испытаний для смеси со шламом использовали природные сорбенты Восточного Казахстана, а именно бентонитовые глины разных горизонтов Таганского месторождения и цеолиты Тайжузгенского месторождения (рис. 6-10). Можно отметить, что природные сорбенты доступны, экономически эффективны, обезвреживают загрязнения различного происхождения.



Рисунок 6 - Шлам: бентонитовая глина 11 горизонта с соотношением 1:1,5

Полученный материал крайне вязкий, держит любую форму.



Рисунок 7 - Шлам: бентонитовая глина 11 горизонта с соотношением 1:1,75

Материал плотный, маловязкий.



Рисунок 8 - Шлам: бентонитовая глина 13 горизонта с соотношением 1:1

Конечный материал очень плотный, невязкий, форму не держит, разваливается на комки.



Рисунок 9 - Шлам: цеолит с соотношением 1:1

Материал маловязкий, пластичный, хорошо держит форму.



Рисунок 10 - Шлам:цеолит с соотношением 1:1,5

Конечный материал невязкий, малопластичный.

Результаты физико-механических свойств шламов с сорбентами приведены в табл. 2, из которой можно сделать вывод, что шлам:цеолит с соотношением 1:1 обладает более большой плотностью.

Таблица 2  
*Результаты физико-механических свойств шлама с сорбентами*

№	Принятые материалы	Влагосодержание исходного материала для подмешивания, %	Крупность помола исходных материалов, мкм	Соотношение материалов	Влагосодержание конечной смеси, %	Плотность, кг/см <sup>3</sup>
1	Шлам:бентонит 11 горизонта	0,1	1,1	1:1,5	17,4	1,5
2	Шлам:бентонит 11 горизонта	0,1	1,1	1:1,75	16,4	1,3
3	Шлам:бентонит 13 горизонта	0,1	1,2	1:1	22,5	1,4
4	Шлам:цеолит	0,1	0,5	1:1	21,8	1,6
5	Шлам:цеолит	0,1	0,1	1:1,5	19,1	1,5

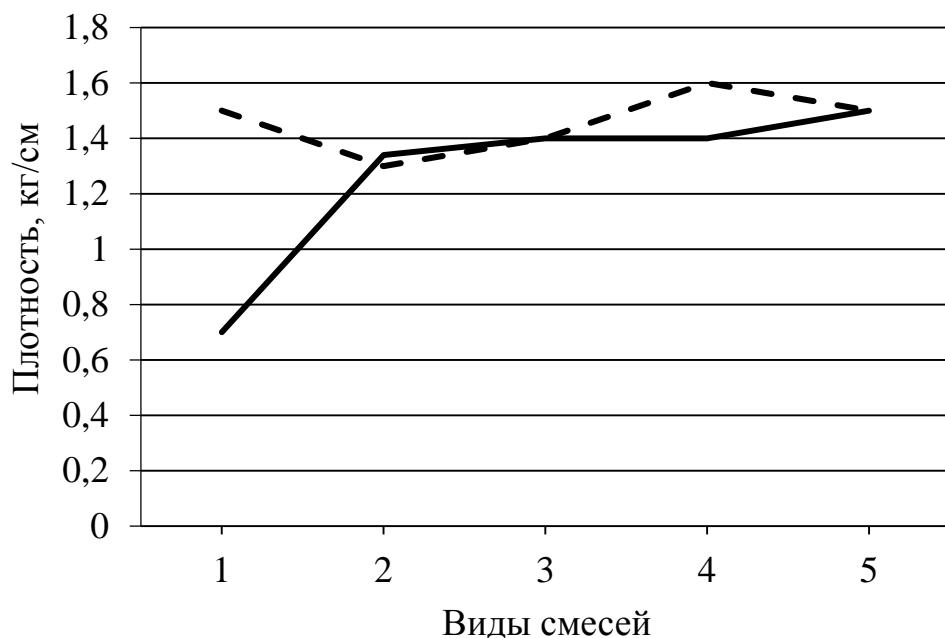


Рисунок 11 - Плотность всех материалов: — — — шламы со стабилизирующими материалами:  
 1- шлам:известь (1:1,5); 2 - шлам:суглинок (1:2); 3 - шлам:цемент:зола (1:0,1:1); 4 - шлам:цемент:зола (1:0,2:1); 5 - шлам:цемент:зола (1:0,5:1);  
 — — — шламы с сорбентами:  
 1 - шлам:бентонит 11 горизонт (1:1,5); 2 - шлам:бентонит 11 горизонт (1:1,75); 3 - шлам:бентонит 13 горизонт (1:1); 4 - шлам:цеолит (1:1);  
 5 - шлам:цеолит (1:1,5)

Проанализировав все полученные в ходе экспериментов данные, для повышения эффективности работ по смешиванию жидких фракций маслосодержащих шламов со стабилизирующими добавками при проведении рекультивации шламонакопителей можно рекомендовать в качестве оптимального состава со шламом цеолиты Тайжузгенского месторождения, смесь с которыми, по сравнению со смесью с известью, суглинками, цементом, золой, бентонитовыми глинами, обладает большей плотностью, пластичностью, стабильностью и возможностью применения в сложных гидрогеологических условиях.

Получено 17.04.2019



УДК 331.467

**Н.Б. Абдрахманова, Г.А. Есельханова, С.Т. Шорманов**

РГКП «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан», г. Нур-Султан

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА ПО РАССЛЕДОВАНИЮ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ  
НА ПРОИЗВОДСТВЕ В СТРАНАХ БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ**

*Проведен сравнительный анализ законодательства стран-членов Евразийского экономического союза по вопросам государственного регулирования проведения расследований несчастных случаев на производстве и оформлению их материалов, выделены особенности проведения расследования произошедшего несчастного случая на производстве и форм по оформлению их результатов на примере стран России, Беларуси и Казахстана.*

*Еуразиялық экономикалық өдаққа мүші елдердің өндірістегі жазатайым оқиғаларды тергеп-тексеруді жүргізуі мемлекеттік реттеу және олардың материалдарын ресімдеу мәселелері бойынша заңнамасына салыстырмалы талдау жүргізілді, өндірісте болған жазатайым оқиғаны тергеп-тексеруді жүргізу ерекшеліктері және олардың нәтижелерін Ресей, Беларусь және Қазақстан елдерінің мысалында ресімдеу бойынша нысандары анықталды.*

*A comparative analysis of the legislation of the member countries of the Eurasian Economic Union on state regulation of investigations of accidents at work and registration of their materials has been carried out, the features of investigating an accident at work and forms for processing their results using the example of Russia, Belarus and Kazakhstan have been highlighted.*

**Ключевые слова:** производственный травматизм, государственное регулирование, расследование.

В настоящее время производственный травматизм для стран ближнего зарубежья членов Евразийского экономического союза (далее - ЕАЭС) является важной социально-экономической проблемой [1-3]. Изучение опыта государственного регулирования вопросов о порядках проведении расследований несчастных случаев на производстве и оформлению их результатах на примере России, Беларуси и Казахстана [4-6] показало, что российское и белорусское законодательство по вопросам расследований несчастных случаев на производстве, как и по оформлению материалов расследования несчастного случая, связанного с трудовой деятельностью, очень схожи с казахстанским законодательством. Между тем, существуют некоторые отличия.

Например, в части расследуемых случаев. Так, в России и Беларуси расследованию подлежат несчастные случаи, которые произошли за период рабочего времени, установленных перерывов и в период междусменного отдыха при работе вахтовым методом.

Кроме того, в России и Беларуси проводятся расследования несчастных случаев, не связанных с трудовой деятельностью. В России акт о непроизводственном несчастном случае не составляется, а составляется только акт о расследовании. В Беларуси составляется акт о непроизводственном несчастном случае и по таким случаям ведется учет непроизводственного травматизма.

Результаты расследования несчастного случая в обязательном порядке рассматриваются работодателем или его представителем с участием выборного органа первичной профсоюзной организации для принятия мер, направленных на предупреждение несчастных случаев на производстве.

В странах-членах ЕАЭС в соответствии с законодательством в данной сфере утверждается обязательный состав комиссии по расследованию несчастного случая. В России для расследования несчастного случая работодатель создает комиссию *незамедлительно* в составе не менее 3 человек. В состав комиссии включается специалист по охране труда или лицо, назначенное ответственным за организацию работы по охране труда приказом (распоряжением) работодателя или представителем работодателя, затем представители выборного органа первичной профсоюзной организации или иного представительного органа работников, уполномоченного по охране труда.

Комиссию возглавляет работодатель или его представитель, а в отдельных случаях (при специальном расследовании) - должностное лицо соответствующего федерального органа исполнительной власти, осуществляющего государственный контроль (надзор) в установленной сфере деятельности. В Беларуси предусмотрен аналогичный подход.

В части участия *других лиц в расследовании* в России и Беларуси допускается участие в расследовании несчастного случая законного личного представителя потерпевшего или его доверенного лица. Представителем работника может быть также адвокат пострадавшего. Это обуславливается тем, что при установлении факта грубой неосторожности пострадавшего в несчастном случае, которая содействовала возникновению или увеличению вреда, причинённого его здоровью, устанавливается степень вины работника. Так как этот фактор является крайне спорным между работником и работодателем, кроме того, зависит от многих обстоятельств, то участие представителя пострадавшего в расследовании смягчает многие разногласия по вопросам установления вины работника.

Вместе с тем *сроки проведения расследований* несчастных случаев, связанных с трудовой деятельностью, в России отличаются от сроков, предусмотренных в Казахстане. В частности, расследование несчастного случая, в том числе и группового, в результате которого один или несколько пострадавших получили легкие повреждения здоровья, проводится в течение 3 дней. Расследование несчастного случая, в том числе группового, в результате которого один или несколько пострадавших получили тяжелые повреждения здоровья, либо несчастного случая, в том числе группового со смертельным исходом проводится комиссией в течение 15 дней.

При необходимости проведения дополнительной проверки обстоятельств несчастного случая, получения соответствующих медицинских и иных заключений сроки могут быть продлены председателем комиссии, но не более чем на 15 дней. Если завершить расследование несчастного случая в установленные сроки не представляется возможным, в связи с необходимостью рассмотрения его обстоятельств в организациях, осуществляющих экспертизу, органах дознания, органах следствия или в суде, то решение о продлении срока расследования несчастного случая принимается по согласованию с этими организациями, органами, либо с учетом принятых ими решений.

Несчастный случай, о котором не было своевременно сообщено работодателю, или в результате которого нетрудоспособность у пострадавшего наступила не сразу, расследуется по заявлению пострадавшего или его доверенного лица в течение одного месяца со дня поступления указанного заявления.

В части *проведения расследований по отдельным основаниям*. Так, в России государственный инспектор труда при выявлении сокрытого несчастного случая, поступлении жалобы, заявления, иного обращения пострадавшего (его законного представителя или иного доверенного лица), лица, состоявшего на иждивении погибшего в результате несчастного случая, либо лица, состоявшего с ним в близком родстве или свойстве (их законного представителя или иного доверенного лица), о несогласии их с выводами комиссии по расследованию несчастного случая, а также при получении сведений, объек-

тивно свидетельствующих о нарушении порядка расследования, проводит дополнительное расследование несчастного случая, независимо от срока давности несчастного случая. Дополнительное расследование проводится, как правило, с привлечением профсоюзного инспектора труда, а при необходимости - представителей соответствующего федерального органа исполнительной власти, осуществляющего государственный контроль (надзор) в установленной сфере деятельности, и исполнительного органа страховщика (по месту регистрации работодателя, в качестве страхователя). По результатам дополнительного расследования государственный инспектор труда составляет заключение о несчастном случае на производстве и выдает предписание, обязательное для выполнения работодателем, или его представителем.

Государственный инспектор труда имеет право обязать работодателя или его представителя составить новый акт о несчастном случае на производстве, если имеющийся акт оформлен с нарушениями или не соответствует материалам расследования несчастного случая. В этом случае прежний акт о несчастном случае на производстве признается утратившим силу на основании решения работодателя или его представителя, или государственного инспектора труда.

В части *определение вины пострадавшего* и в России, и в Беларуси, также как в Казахстане актом о несчастном случае предусмотрено определение вины пострадавшего. Порядок определения вины пострадавшего следующий:

- в *России*: если при расследовании несчастного случая установлено, что грубая неосторожность пострадавшего работника (застрахованного) содействовала возникновению или увеличению вреда, причинённого его здоровью, то комиссия по расследованию несчастного случая на производстве устанавливает степень вины работника в процентах, с учетом заключения выборного органа первичной профсоюзной организации или иного уполномоченного работниками органа. Следует отметить, что в расследовании несчастного случая на производстве может принимать участие законный представитель потерпевшего работника (или иное доверенное лицо).

- в *Беларуси*: если грубая неосторожность потерпевшего содействовала возникновению или увеличению вреда, причиненного его здоровью, то при расследовании несчастного случая на производстве или профессионального заболевания определяется и указывается в акте о несчастном случае на производстве или в акте о профессиональном заболевании степень вины потерпевшего в процентах на основании протокола об определении степени вины потерпевшего от несчастного случая на производстве, профессионального заболевания, подписанного уполномоченным должностным лицом организации, нанимателя, страхователя и уполномоченным представителем профсоюза или иного представительного органа работников.

Необходимо отметить, что если при расследовании страхового случая комиссией по расследованию страхового случая установлено, что грубая неосторожность застрахованного содействовала возникновению или увеличению вреда, причиненного его здоровью, размер ежемесячных страховых выплат уменьшается соответственно степени вины застрахованного, но не более чем на 25%. Вина пострадавшего никак не учитывается при его смерти.

В Казахстане на основании Гражданского кодекса [7] если грубая неосторожность самого потерпевшего содействовала возникновению или увеличению вреда, то в зависимости от степени вины потерпевшего и причинителя вреда размер возмещения должен быть уменьшен. При грубой неосторожности потерпевшего и отсутствии вины причинителя в случаях, когда его ответственность наступает независимо от вины, размер возмещения должен быть уменьшен, или в возмещении вреда может быть отказано, если законода-

тельными актами не предусмотрено иное. При причинении вреда жизни и здоровью гражданина полный отказ в возмещении не допускается.

Кроме того, согласно Трудовому кодексу РК от 23 ноября 2015 г. № 414-В [8] и Закону РК от 7 февраля 2005 г. № 30-III «Об обязательном страховании работника от несчастных случаев при исполнении им трудовых (служебных) обязанностей» работодатель несет расходы по возмещению утраченного заработка пострадавшему работнику при установлении степени утраты профессиональной трудоспособности от 5 до 29 процентов включительно [9].

Определение степени вины работника и работодателя противоречит практике стран-членов ОЭСР. Отчеты о расследованиях несчастных случаев на производстве в странах-членов ОЭСР не содержат данных о виновных лицах, а фиксируют лишь недостатки и недочеты в системе управления безопасностью, охраной труда и здоровья на производстве.

Практика показывает следующее, что если расследование будет сосредоточено на поиске виновных, то и работники, и работодатель будут уклоняться от участия в открытом и честном процессе расследования. С одной стороны, работники будут бояться мер воздействия на них, с другой стороны, работодатели будут обеспокоены признанием своих ошибок ввиду потенциально возможной юридической и финансовой ответственности. Этот аспект крайне важно учитывать в процессе расследования несчастного случая для того, чтобы выявить истинные причины произошедшего несчастного случая с целью предотвращения подобных случаев в будущем.

Во-вторых, страховые организации Казахстана, согласно законодательства РК, должны осуществлять выплаты при несчастном случае при исполнении трудовых (служебных) обязанностей, произошедшем с работником (работниками) при исполнении им (ими) трудовых (служебных) обязанностей, в результате воздействия вредного и (или) опасного производственного фактора, вследствие которого произошли производственная травма или внезапное ухудшение здоровья, или отравление работника, приведшие его к установлению ему степени утраты профессиональной трудоспособности, профессиональному заболеванию либо смерти.

Затем на основе анализа законодательства изучаемых стран в данной области было изучено использование актов о несчастном случае, связанном с трудовой деятельностью, в странах-членов ЕАЭС. Так, в России копии актов о несчастном случае на производстве вместе с копиями актов об их расследовании направляются в федеральный орган исполнительной власти, уполномоченный на осуществление федерального государственного надзора над соблюдением трудового законодательства, для анализа состояния и причин производственного травматизма, а также разработки предложений по профилактике.

В Беларуси государственными органами используются данные из актов о несчастном случае для рассмотрения причин групповых несчастных случаев и несчастных случаев с тяжелым, смертельным исходом с целью обоснования эффективных мер по решению проблем безопасности и гигиены труда и их дальнейшей реализации.

В Казахстане акт о несчастном случае является документом, данные которого используются для следующих целей:

- формирования ежегодной официальной статистической информации, когда работодатель ежегодно до 25 февраля года, следующего за отчетным, представляет в органы статистики РК данные по установленным ими формам;

- формирования оперативной информации (ежеквартальной) о производственном травматизме, предоставляемой управлениями по инспекции труда местных исполнительных органов областей, гг. Астаны и Алматы по установленным государственным уполномоченным органам.

номоченным органом формам;

- выявления причин произшедшего несчастного случая и разработки на этой основе мер по предупреждению подобных случаев;

- установления должностных и иных лиц, ответственных за нарушения, которые фактически привели к несчастному случаю, в целях привлечения их к ответственности в соответствии с действующим законодательством;

- создания надлежащей документальной основы для принятия исчерпывающих мер по обеспечению полной реализации установленных действующим законодательством социальных гарантий и прав работников, пострадавших в результате несчастного случая, и членов их семей.

Таким образом, международная и отечественная практика показывают, что для предупреждения производственного травматизма в организациях и на предприятиях первостепенное значение имеет квалифицированное расследование несчастного случая. В отличие от практики стран-членов Организации экономического сотрудничества и развития, определение степени вины работника и работодателя, применяемое в странах ЕАЭС, оказывает влияние на выявление истинных причин произшедшего несчастного случая. В случае их формального установления сохраняется потенциальная опасность травмирования работников, которая может привести к повторению подобных несчастных случаев с более серьезными последствиями.

#### Список литературы

1. Охрана труда в Республике Казахстан: Национальный обзор. – Астана: МЗСР РК, 2015. – 75 с.
2. Профессиональный риск для здоровья работников: Руководство / Под ред. Н.Ф. Измерова, Е.И. Денисова. – М.: Троянт, 2003. - 430 с.
3. Профессиональный риск: оценка и управление. - М.: Аникиль, 2004. - 224 с.
4. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 года №197-ФЗ (редакция от 03.07.2016) (с изменениями и дополнениями, вступившими в силу с 01.01.2017 г.) // [Сайт «КонсультантПлюс»]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
5. Постановление Минтруда России от 24 октября 2002 года №73 «Об утверждении форм документов, необходимых для расследования и учета несчастных случаев на производстве, и положения об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях» (по состоянию на 07.03.2017 г.) // [Сайт «КонсультантПлюс»]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
6. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 15 января 2004 года № 30 «О расследовании и учете несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» (по состоянию на 17.10.2014 г.) // [Сайт «Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь»]. – Режим доступа: <https://www.pravo.by>.
7. Гражданский кодекс Республики Казахстан от 1 июля 1999 года № 409-І (Особенная часть) (с изменениями и дополнениями по состоянию на 27.02.2017 г.) // [Сайт «Эділет»]. – Режим доступа: <http://adilet.zan.kz>.
8. Трудовой кодекс Республики Казахстан от 23 ноября 2015 года № 414-V (с изм. и доп. от 06.04.2016 г.) // [Сайт «Параграф»]. – Режим доступа: <http://online.zakon.kz>.
9. Закон Республики Казахстан от 7 февраля 2005 г. № 30-ІІІ «Об обязательном страховании работника от несчастных случаев при исполнении им трудовых (служебных) обязанностей» (с изм. и доп. по состоянию на 24.11.2015 г.) // [Сайт «Параграф»]. – Режим доступа: <http://online.zakon.kz>.

Получено 17.04.2019

УДК 331.4:334.716.3(574)

**С.А. Бекеева, Л.К. Жанкулова, Е.Ж. Князов**

РГКП «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения, г. Нур-Султан

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ РАБОТНИКОВ  
ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ**

При исследовании работников в динамике рабочих смен и вахтового периода работы было установлено, что сменный характер труда приводит к нарушению привычных биоритмов, быстрому развитию утомления и снижению умственной работоспособности. Понижение физиологических показателей по определенным часам рабочих смен обосновывает необходимость ведения регламентированных внутрисменных перерывов с целью профилактики профессионально обусловленных заболеваний и снижения риска несчастных случаев на производстве.

Жұмысшылардың жұмыс ауысымдары мен жұмыс ауысымының динамикасын зерттеу барысында еңбек ауысымының силаты құнделікті биоритмдердің бұзылуына, шаршагандықтың жылдам дамуына және ақыл-ойдың өнімділігін тәмендетуге әкеп соқтыратыны анықталды. Физиологиялық көрсеткіштердің жұмыс уақытының белгілі бір сағаттарында тәмендеуі, көсібі аурулардың алдын алу және өндірістегі жазатайым оқиғалар қаупін азайту үшін реттелетін үзілістерді сақтау қажеттілігін негіздейді.

*In the study of workers in the dynamics of working shifts and shift period of work, it was found that the shift nature of labor leads to a violation of the usual biorhythms, the rapid development of fatigue and reduce mental performance. The decrease in physiological indicators for certain hours of work shifts justifies the need for maintaining regulated breaks in order to prevent professionally caused diseases and reduce the risk of industrial accidents.*

**Ключевые слова:** обогатительная фабрика, условия производственной среды, вахтовый метод организации труда, работники производства и инженерно-технические работники, функциональное состояние организма.

Известно, что сменная работа при вахтовом методе является достаточно распространенным способом организации трудовой деятельности. Сменный характер труда распространен среди 15-20% общего работающего населения [1] и предусмотрен на предприятиях, где необходимость такой работы диктуется экономическими условиями и потребительским спросом [2, 3]. Также исследованиями было установлено, что многочасовые смены приводят к нарушению привычных биоритмов, изменению метаболического обмена, сокращению восстановительного периода между сменами и способствуют более быстрому развитию утомления [4, 5].

Следовательно, исследование функционального состояния работников обогатительной фабрики при вахтовом методе организации труда и связанных с ним механизмов, объясняющих влияние посменной работы на состояние здоровья, представляет актуальность работы.

Основным видом экономической деятельности обогатительной фабрики является переработка марганцевых руд для получения марганцевого концентрата. На фабрике применяется вахтовый метод организации труда с продолжительностью 15 календарных дней, в непрерывном сменном режиме - 2 смены по 12 часов (первая с 20.00 по 08.00 часов, вторая смена – с 08.00 по 20.00 часов), в том числе 30 минутный перерыв для приема пищи и отдыха.

В исследовании приняли участие 75 работников мужчин, из них 51 человек рабочие производственного персонала следующих профессий: бункировщик, дробильщик, машинист погрузчика и конвейера, слесарь ремонтник, горнорабочий, пробоотборщик, электрогазосварщик, оператор пульта управления, весовщик, мастер смены, механик дробильного отделения. Контрольная группа представлена инженерно-техническими работниками (ИТР) - 24 человека, не имеющих длительного контакта с вредными производственными факторами. Исследова-

ние функционального состояния организма ИТР в динамике рабочего дня проводилось в 3 этапа: перед работой, перед обеденным перерывом, в конце рабочего дня; рабочих 1 смены (ночная) и 2 смены (дневная) – в 5 этапов в динамике непрерывных рабочих смен в начале и конце вахтового периода. Физиологические методы включали: измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС), систолического (САД) и диастолического (ДАД) артериального давления; ручная динамометрия с определением максимальной мышечной силы (кг) и силового индекса (%); изучение умственной работоспособности с помощью таблицы Бурдона-Анфимова [6]. На основании статьи 181 Кодекса РК от 18.09.2009 г. № 193-IV «О здоровье народа и системе здравоохранения», с участниками исследований проводилась процедура оформления письменного информированного согласия на участие в исследованиях.

Математическая обработка проводилась при помощи стандартного пакета программ STATISTICA 8 [7]. Полученные данные обрабатывали общепринятыми методами с определением математического ожидания, среднеквадратического отклонения, ошибки средней и достоверности различия (по Стьюденту). Достоверными считались сдвиги при ( $p < 0,05$ ).

Анализ результатов аттестации производственного объекта по условиям труда рабочих мест показал, что условия труда опасности основных рабочих (дробильщик, горнорабочий, бункеровщик, машинист конвейера, машинист питателей, электрогазосварщик, слесарь-ремонтник по обслуживанию грохотов, оператор пульта управления) составили – 3,2, у мастера смены, пробоотборщика, слесаря-ремонтника оборудования и механика дробильного оборудования – 3,1. Условия труда на обрабатывающей фабрике формируются под воздействием сложного комплекса вредных химических веществ, запыленности воздуха, недостаточности освещения, высокого уровня производственного шума, электромагнитных полей, неблагоприятного микроклимата, а также психофизиологических факторов трудового процесса (тяжести и напряженности труда).

При исследовании функционального состояния организма ИТР в начале вахтового периода было установлено повышение систолического давления во второй половине рабочего дня, повышение диастолического давления в середине рабочего дня ( $p < 0,05$ ), снижение ударного и минутного объема крови во второй половине рабочего дня, что объясняется утомлением. Кроме того, перед началом работы выявлено снижение скорости переработки информации и показателя устойчивости внимания ( $p < 0,05$ ), что является следствием недостаточности ночного отдыха.

У рабочих 1-йочной смены в динамике рабочего дня систолическое и диастолическое давление превышало физиологическую норму. Перед рабочей сменой установлено ( $p < 0,05$ ) повышение пульсового давления и низкий показатель устойчивости внимания, что обусловлено недостаточным межсменным отдыхом. Возможно, данные изменения связаны с влиянием на организм применяемых режимов труда и отдыха.

У рабочих 2-й дневной смены перед началом рабочего дня выявлены изменения показателей умственной работоспособности (коэффициента умственной продуктивности, скорости переработки информации, показателя устойчивости внимания), что связано с недостаточностью межсменного отдыха. Снижение скорости переработки информации в конце первой половины рабочей смены ( $p < 0,05$ ), а также в конце рабочей смены понижение коэффициента устойчивости внимания ( $p < 0,05$ ) можно объяснить утомлением, которое сопровождается снижением работоспособности и повышением риска травматизма.

В конце вахтового периода в ходе исследований функционального состояния организма ИТР в середине рабочего дня было установлено повышение систолического давления ( $p < 0,05$ ), в конце рабочего дня - снижение показателей общей работоспособности (мак-

симальной мышечной силы кисти руки и силового индекса) ( $p<0,05$ ), снижение объема зрительной информации, скорости переработки информации и показателя устойчивости внимания ( $p<0,05$ ). Данные изменения объясняются утомлением, характерным для конца вахтового периода (табл. 1).

Таблица 1  
*Оценка функционального состояния организма ИТР в динамике рабочего дня  
 (с 08.00 - 17.00 ч.), конец вахты, Me (Q25;Q75), n=24*

Наименование показателя	Этапы исследования в динамике рабочей смены		
	1	2	3
<i>Общая работоспособность</i>			
Мышечная сила кисти руки по максимальному усилию (в даН)	60,75 (52,50;62,00)	61,00 (51,00;62,50)	55,00 (40,00;63,00)*
Силовой индекс (в %)	74,73 (66,64;87,55)	74,37 (68,47;86,10)	68,09 (65,88;76,30)*
<i>Умственная работоспособность</i>			
A (в усл.ед.)	0,95 (0,90;0,98)	0,95 (0,94;0,99)	0,95 (0,92;0,98)
P (в усл.ед.)	438,30 (388,34;509,04)	449,84 (417,94;474,69)	399,58 (326,00;463,02)
Q (в бит)	283,44 (241,00;356,16)	275,43 (257,03;322,32)	244,86 (193,51;299,77)*
S (в бит/с)	2,11 (1,91;2,49)	2,16 (2,05;2,31)	1,87 (1,61;2,28)*
УВН (в усл.ед.)	74,03 (36,91;242,00)	77,13 (63,00;392,00)	69,20 (49,09;235,50)*
<i>Сердечно-сосудистая система</i>			
СД (в мм рт.ст.)	124,00 (120,00;130,00)*	127,50 (120,00;138,00)*	121,50 (120,00;137,00)
ДД (в мм рт.ст.)	80,00 (76,00;87,00)	87,50 (80,00;90,00)*	86,50 (80,00;107,00)*
ПД (в мм рт.ст.)	40,00 (40,00;50,00)	41,00 (40,00;42,00)	40,00 (30,00;40,00)
ЧП (в уд/мин)	76,00 (76,00;80,00)	80,00 (68,00;84,00)	68,00 (64,00;80,00)*
УОК (в мл)	49,38 (37,05;57,76)	46,84 (36,96;52,72)	59,09 (50,51;66,23)
МОК (в мл/мин)	3590,62 (2852,85;5082,88)	3490,24 (2956,80;3860,80)	4137,36 (3030,60;4619,12)
<p><b>Примечание.</b> Данные представлены в виде Me (Q25;Q75); Me – медиана; (Q25;Q75) – межквартильный интервал; * – знак показывает статистически значимые изменения при <math>p&lt;0,05</math>; A – коэффициент точности выполнения задания; Р – коэффициент умственной продуктивности; Q – объем зрительной информации; S – скорость переработки информации; УВН – показатель устойчивости внимания; СД – системическое давление; ДД – диастолическое давление; ПД – пульсовое давление; ЧП – частота пульса; УОК – ударный объем крови; МОК – минутный объем крови.</p>			

У рабочих 1 смены перед началом и в конце рабочего дня установлено повышение системического и диастолического давления, превышающее физиологическую норму ( $p<0,05$ ), что, возможно, связано с вахтовым методом организации труда. Зафиксированное понижение ударного и минутного объема крови в первой половине рабочей смены и понижение частоты пульса во второй половине ( $p<0,05$ ) характеризует состояние утомления рабочих в динамике рабочей смены (табл. 2). Также до начала рабочей смены наблюдалось понижение скорости переработки информации и показателя устойчивости внимания ( $p<0,05$ ), что свидетельствует о недостаточном отдыхе перед работой в связи с неполноценным сном в дневное время.

Таблица 2

*Оценка функционального состояния организма рабочих в динамике I смены  
с ночных временем (с 20.00 - 8.00 ч.), конец вахты, Me (Q25;Q75), n=25*

Наименование показателя	Этапы исследования в динамике рабочей смены				
	1	2	3	4	5
<i>Общая работоспособность</i>					
Мышечная сила кисти руки по максимальному усилию (в даН)	49,00 (43,50;57,50)	50,50 (45,00;58,00)	52,00 (46,00;57,00)	50,25 (45,75;57,00)	55,00 (41,50;58,00)
Силовой индекс (в %)	65,33 (58,80;75,18)	64,61 (59,62;75,18)	64,52 (59,89;73,84)	65,78 (57,17;76,52)	68,13 (53,84;79,71)
<i>Умственная работоспособность</i>					
A (в усл.ед.)	0,89	0,94	0,89	0,95	0,94 (0,89;0,97)
P (в усл.ед.)	(0,81;0,93)	(0,90;0,97)	(0,75;0,97)	(0,89;0,97)	287,27
Q (в бит)	228,51* (171,02;287,19)	266,02 (213,50;406,64)	255,75 (221,14;360,00)	284,85 (209,78;339,00)	(239,84;374,58) 180,75
S (в бит/с)	183,42 (128,81;201,89)	168,58 (128,81;250,50)	180,16 (145,43;251,69)	176,60 (146,62;205,39)	(154,93;257,03) 1,40 (1,18;1,74)
УВН (в усл.ед.)	2) 1,09 (0,85;1,39)* 47,50 (20,62;51,88)*	0) 1,29 (1,05;1,98)	9) 1,20 (1,04;1,72)	9) 1,39 (1,01;1,64)* 85,67 (34,55;144,33)	76,98 (32,11;123,50)
<i>Сердечно-сосудистая система</i>					
СД (в мм рт.ст.)	130,00 * (120,00;150,00)	120,00 (120,00;160,00)	120,00 (110,00;145,00)	122,50 (120,00;150,00)	130,00 (115,00;140,00)*
ДД (в мм рт.ст.)	90,00	93,00	80,00	90,00	95,00
ПД (в мм рт.ст.)	90,00 (80,00;100,00)	85,00 (85,00;110,00)	78,00 (78,00;100,00)	85,00 (85,00;100,00)	(80,00;100,00)*
ЧП (в уд/мин)	40,00 (40,00;45,00)	37,50 (30,00;45,00)	30,00 (27,00;43,00)	35,00 (32,00;50,00)	(33,00;40,00) 68,00
УОК (в мл)	76,00 (64,00;76,00)	72,00 (68,00;96,00)	68,00 (68,00;84,00)	64,00 (64,00;72,00)*	(60,00;80,00) 33,58
МОК (в мл/мин)	34,64 (28,85;40,53)	28,76 (19,16;32,70)*	27,60 (23,97;02(2318,40;3352,16)	34,63 (30,32;38,85)	(28,73;38,70) 2224,92(1953,64; 2925,60)

**Примечание.** Данные представлены в виде Me (Q25; Q75); Me – медиана; (Q25; Q75) – межквартильный интервал; \* – знак показывает статистически значимые изменения при  $p < 0,05$ ; A – коэффициент точности выполнения задания; P – коэффициент умственной продуктивности; Q – объем зрительной информации; S – скорость переработки информации; УВН – показатель устойчивости внимания; СД – системическое давление; ДД – диастолическое давление; ПД – пульсовое давление; ЧП – частота пульса; УОК – ударный объем крови; МОК – минутный объем крови.

У рабочих 2 смены перед началом и в первой половине рабочего дня наблюдалось повышение системического давления ( $p<0,05$ ), а также в начале смены понижение показателей умственной работоспособности ( $p<0,05$ ), таких как коэффициент точности выполнения задания, коэффициент умственной продуктивности, объем зрительной информации, скорость переработки информации, показатель устойчивости внимания (табл. 3).

Таблица 3

*Оценка функционального состояния организма рабочих обогатительной фабрики в динамике 2 смены с дневным временем (с 8.00 - 20.00 ч.), конец вахты,  $Me (Q25;Q75)$ ,  $n=26$*

Наимено- вание по- казателя	Этапы исследования в динамике рабочей смены				
	1	2	3	4	5
<i>Общая работоспособность</i>					
Мышеч- ная сила кисти ру- ки по мак- сималь- ному усилию (в даН)	46,25 (41,50;56,50)	41,75 (39,00;59,00)	45,50 (42,50;57,50)	47,50 (40,00;57,50)	43,25 (40,00;61,50)
Сил. ин- декс (в %)	66,31 (48,46;79,10)	62,02 (45,66;84,00)	65,13 (50,44;74,38)	66,75 (49,00;76,13)	62,21* (53,32;78,75)
<i>Умственная работоспособность</i>					
A (в усл.ед.)	0,89 (0,86;0,96)*	0,91 (0,88;0,98)	0,95 (0,89;0,96)	0,95 (0,90;0,98)	0,97 (0,94;0,99)
P (в усл.ед.)	332,32 (304,85;373,36 )*	385,67 (303,24;449,93)	384,80 (356,44;461,5 6)	379,96 (332,12;425,4 7)	400,68 (312,00;491,00)
Q (в бит)	225,57 (207,76;236,85 )*	254,65 (219,04;284,93)	251,09 (222,01;284,9 3)	246,94 (214,29;257,0 3)	260,29 (207,17;291,46)
S (в бит/с)	1,62 (1,40;1,83)*	1,87 (1,35;2,20)	1,85 (1,70;2,27)	1,84 (1,60;2,10)	1,96 (1,48;2,43)
УВН (в усл.ед.)	35,33 (24,93;87,50)*	44,93(31,11;160, 00)	65,00 (35,30;106,00 )	42,25 (30,09;136,50 )	131,25 (53,33;280,00)*
<i>Сердечно-сосудистая система</i>					
СД (в мм рт.ст.)	142,50 (125,00;155,00 )*	135,00 (125,00;145,00)*	125,00 (120,00;150,0 0)	120,00 (105,00;140,0 0)	125,00 (110,00;140,00)
ДД (в мм рт.ст.)	90,00 (80,00;100,00 )*	85,00 (70,00;90,00)	90,00 (80,00;100,00 )*	85,00 (70,00;100,00 )	82,50 (70,00;95,00)
ПД (в мм рт.ст.)	52,50 (40,00;65,00)*	62,50 (55,00;68,00)*	40,00 (30,00;50,00)	32,50 (30,00;40,00)	40,00 (30,00;50,00)
ЧП (в уд/мин)	72,00 (64,00;80,00)	62,50 (55,00;68,00)*	68,00 (64,00;72,00)	68,00 (64,00;72,00)	68,00 (64,00;68,00)

УОК (в мл)	42,32 (39,44;47,62)	48,37 (36,52;61,25)	36,81 (29,64;45,89)	36,96 (28,34;45,71)*	38,59 (33,80;41,78)
МОК (в мл/мин)	3030,48 (2803,20;3155,20)	3314,06 (2582,40;3998,08)	2607,62 (2015,52;3192,32)	2480,30 (1927,12;2925,44)*	2699,26 (2118,48;3028,72)

Примечание. Данные представлены в виде Me (Q25; Q75); Me – медиана; (Q25; Q75) – межквартильный интервал; \* - знак показывает статистически значимые изменения при  $p < 0,05$ ; A - коэффициент точности выполнения задания; Р - коэффициент умственной продуктивности; Q - объем зрительной информации; S - скорость переработки информации; УВН - показатель устойчивости внимания; СД – систолическое давление; ДД – диастолическое давление; ПД – пульсовое давление; ЧП – частота пульса; УОК – ударный объем крови; МОК – минутный объем крови.

Вместе с тем в первой половине рабочей смены наблюдалось понижение частоты пульса, ударного и минутного объема крови, в конце рабочей смены понижение силового индекса. Данные изменения свидетельствуют о состоянии утомления, снижения работоспособности, что связано с влиянием на состояние здоровья рабочих применяемого режима труда и отдыха.

Таким образом, исследование функционального состояния организма рабочих при вахтовом методе организации труда в динамике рабочих смен показало снижение умственной работоспособности, что отражает более длительный период врабатывания вследствие усталости, утомления, снижения работоспособности и сопровождается повышением риска травматизма. Также повышение артериального давления в первой половине рабочей смены, возможно, связано с неблагоприятным влиянием применяемых режимов труда и отдыха на организм работников.

В этой связи с целью предупреждения вероятности развития заболеваний не рекомендуется увеличивать вахтовый период более 15 суток. Снижение физиологических показателей работников, сформированных вследствие утомления, в динамике рабочих смен обосновывает необходимость введения коротких регламентированных внутрисменных перерывов (10 мин). При этом внутрисменные перерывы необходимо соблюдать строго по определенным часам рабочей смены с целью восстановления функционального состояния организма работников и поддержания оптимального уровня работоспособности, а также снижения рисков потенциально возможных случаев травматизма на производстве в результате недооценки опасности из-за утомления.

По этим же причинам рекомендуется при вахтовом методе организации труда представлять рабочим после недельныхочных смен непрерывный отдых продолжительностью более 24 часов для восстановления организма. С целью профилактики развития утомления и предупреждения возможных случаев травматизма на сменах длительностью 12 часов рекомендуется устанавливать внутрисменные регламентированные перерывы на 2, 6, 8 и 10 часах от начала рабочей смены.

Выявление показателей вредных производственных факторов в соответствии с гигиеническими нормами, нормативами и стандартами является необходимой мерой обеспечения оптимальной работоспособности. Благоприятные санитарно-гигиенические условия труда будут способствовать сохранению здоровья работников.

#### Список литературы

1. Painting, firefighting, and shift work. In: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 98. Lyon: IARC; 2010.

2. Solenova L.G., Kukhtina E.G., Fedichkina T.P. Zykova I.E.. Night shift and the risk of hormone-dependent diseases in women. *Gigiena i sanitariya*. 2012; 4: 35-7. (in Russian)
3. Черникова Е.Ф. Влияние сменного характера труда на состояние здоровья работников (обзорная статья) // Гигиена и санитария. - 2015. - № 3 (94). - С. 44 – 48.
4. Онаев С.Т. Функциональное состояние организма работников, занятых на производстве с особыми формами организации труда / С.Т. Онаев, Д.С. Абитаев, И.М. Шаметеков и др. // Гигиена труда и медицинская экология. - 2009. - № 3 (24). - С. 41 – 50.
5. Бекеева С.А. Оценка умственной работоспособности работников при вахтовом методе организации труда: Матер. Междунар. практ. интернет-конф. «Актуальные проблемы науки». - Алматы, 2018. - С. 1-6.
6. Горшков С.И. Методики исследования в физиологии труда / С.И. Горшков, З.М. Золина, Ю.В. Мойкин. - М.: Медицина, 1974. – 225 с.
7. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. - М.: МедиаСфера, 2006. - 312 с.

Получено 17.04.2019

УДК 614.2

### М.А. Бекенова

РГКП «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан», г. Нур-Султан

#### ОРГАНИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РАБОТНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

*В статье рассматриваются порядок организации проведения предварительных, периодических медицинских осмотров, предсменное, послесменное медицинское освидетельствование работников, обязательные медицинские осмотры декретированных групп населения. Основной целью проведения медицинского осмотра является обеспечение своевременного обследования, направленного на формирование и укрепление здоровья, выявление и предупреждение распространения заболеваний, в том числе профессиональных, несчастных случаев, а также обеспечение безопасности труда и охраны здоровья работников организаций, лиц, осуществляющих производственную деятельность.*

*Бұл мақалада алдын ала, мерзімдік медициналық тексерулерді, аудысым алдындағы және аудысымнан кейінгі медициналық күеландыруларды, халықтың декреттік топтарының міндетті медициналық тексерулерін жүргізуі үйімдастыру тәртібі қарастырылады Медициналық тексеруді жүргізуідің негізгі мақсаты денсаулықты қалыптастыруға және нығайтуға, аурулардың, оның ішінде кәсіптік, жазатайым өкігалардың таралуын анықтауға және алдын алуға, сондай-ақ үйімдардың қызметкерлерінің, өндірістік қызметті жүзеге асыратын адамдардың еңбек қауіпсіздігі мен денсаулығын қорғауды қамтамасыз етуге бағытталған уақытылы тексеруді қамтамасыз ету болып табылады.*

*The article discusses the organization of preliminary, periodic medical examinations, pre-shift, post-shift medical examinations of employees, mandatory medical examinations of decreed population groups. The main purpose of the medical examination is to ensure timely examination aimed at shaping and promoting health, identifying and preventing the spread of diseases, including occupational accidents, as well as ensuring occupational safety and health protection of employees of organizations and individuals engaged in production activities.*

**Ключевые слова:** медицинское обслуживание, предварительный медицинский осмотр, периодический медицинский осмотр, предсменное медицинское освидетельствование, послесменное медицинское освидетельствование.

В Республике Казахстан согласно Трудового Кодекса Республики Казахстан, правил проведения обязательных медицинских осмотров проводятся медицинские осмотры, где

регламентируется проведение медицинских осмотров, порядок проведения, периодичность, а также категории работников (профессии), которые должны проходить медицинские осмотры.

В Республике Казахстан работники проходят следующие виды медицинских осмотров:

- предварительный;
- периодический;
- предсменное, послесменное медицинское освидетельствование;
- обязательные медицинские осмотры декретированных групп населения.

Предварительные медицинские осмотры проводятся при поступлении на работу с целью выяснения пригодности к выполнению обязанностей по профессии, а также предупреждения общих, профессиональных и нераспространения инфекционных и паразитарных заболеваний.

Периодические (в течение трудовой деятельности) медицинские осмотры, предсменное, послесменное медицинское освидетельствование работников, обязательные медицинские осмотры декретированных групп населения работодатель проводит за счет собственных средств [1].

Ответственность за организацию предварительных и периодических медицинских осмотров, а также за своевременность прохождения предварительного медицинского осмотра возлагается на ответственное лицо, за своевременность прохождения работниками периодических медицинских осмотров по структурному подразделению возлагается на руководителя подразделения.

Обязательные медицинские осмотры авиационного персонала (авиадиспетчеров обслуживающих воздушное движение, пилотов, бортинженеров (бортмехаников), штурманов, авиадиспетчеров, бортпроводников, бортоператоров, пилотов-любителей (самолет или вертолет), пилотов сверхлегкой авиации, бортрадистов) проводятся в соответствии с правилами медицинского освидетельствования и осмотра в гражданской авиации Республики Казахстан [2].

Обязательные периодические медицинские осмотры работающих во вредных условиях труда проводятся 1 раз в год.

Работодатель не позднее 1 декабря составляет список лиц, подлежащих обязательному медицинскому осмотру по форме, согласно правилам проведения обязательных медицинских осмотров, руководствуясь перечнем вредных производственных факторов, профессий, при которых проводятся обязательные медицинские осмотры, утвержденным приказом Министра национальной экономики Республики Казахстан от 28 февраля 2015 года № 175 [3].

Списки лиц, подлежащих обязательному медицинскому осмотру, утверждаются работодателем и согласовываются с территориальными подразделениями ведомства государственного органа в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

По итогам проведения периодических медицинских осмотров медицинская организация составляет заключительный акт в 5-ти экземплярах и в течение 30 календарных дней после завершения периодического медицинского осмотра предоставляет его в территориальные подразделения государственного органа в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия населения (в том числе и на транспорте), где в приложениях к акту дает поименный список лиц, которым рекомендован перевод на дру-

гую работу, стационарное и санаторно-курортное лечение, диетическое питание, динамическое наблюдение [4].

Работодатель на основании заключительного акта о периодическом осмотре при наличии противопоказаний к работе у сотрудников предприятия разрабатывает и утверждает приказ о недопущении работника к выполнению работ по медицинским показаниям.

Медицинская организация после проведения периодических осмотров оформляет экспертное заключение врачебной комиссии о профессиональной пригодности с учетом медицинской документации с места жительства независимо от вида медицинского осмотра. При этом заключение врачебной комиссии лицам, которым противопоказана работа во вредных и (или) опасных условиях труда, не выдается. Экспертное заключение в течение трех рабочих дней направляется работодателю с одновременным извещением лица, которому противопоказана работа с вредными производственными факторами [4].

Работники информируются о результатах проведенного медицинского осмотра.

В случае если при проведении медицинского осмотра возникают подозрения на наличие у работника медицинских противопоказаний, работник не допускается к работе с вредными и (или) опасными условиями труда, а также к работам, при выполнении которых обязательно проведение предварительных и периодических осмотров.

В случае подозрения о наличии у работника профессионального заболевания при проведении периодического осмотра медицинская организация выдает работнику направление в центр профпатологии или специализированную медицинскую организацию, имеющую право на проведение экспертизы связи заболевания с профессией, а также оформляет и направляет извещение об установлении предварительного диагноза.

Работодатель разрабатывает совместно с медицинской организацией, обслуживающей предприятие, или с территориальной медицинской организацией по месту нахождения работодателя ежегодный план мероприятий по оздоровлению выявленных больных.

Работодатель совместно с медицинской организацией, обслуживающей предприятие, или с территориальной медицинской организацией по месту нахождения работодателя обеспечивает своевременное направление больных на углубленное обследование и лечение в центры профессиональной патологии лиц с профессиональными заболеваниями и подозрением на них.

*Обязательные медицинские осмотры декретированных групп населения.* Допуск к работе декретированных групп населения (люди, работающие в сфере обслуживания) выдает организация, имеющая лицензию на медицинскую деятельность - экспертиза профессиональной пригодности.

В случае диагностирования инфекционного или паразитарного заболевания, а также выявления носительства возбудителей инфекционных заболеваний, являющихся противопоказанием к допуску к выполняемой (избранной) работе, лицо, ответственное за допуск, направляет больного для лечения в соответствующую лечебно-профилактическую организацию по месту жительства.

Декретированные лица допускаются к работе после получения отметки о допуске к работе в личной медицинской книжке. Личные медицинские книжки работников хранятся на рабочем месте.

Работники административно-хозяйственной службы: бухгалтер, сторож, дворник, служба охраны, технический персонал для уборки служебно-административных помещений не входят в перечень декретированной группы населения.

Предсменное и послесменное медицинское освидетельствование проводится в целях установления или подтверждения наличия или отсутствия у физического лица заболевания, определения состояния здоровья, а также временной нетрудоспособности, профессиональной пригодности к работе в заступаемую смену [4]. Предсменное и послесменное медицинское освидетельствование проводится в организациях, где работники заняты на работах, связанных с повышенной опасностью, машинами и движущими механизмами, а также на работах с эксплуатацией транспорта.

Работодатель для проведения предсменного и послесменного медицинского освидетельствования работников выделяет специальное помещение, оборудованное системами отопления, водоснабжения и освещения.

Предсменное и послесменное медицинское освидетельствование проводится на предприятиях штатным медицинским работником (прошедшие специальную подготовку в наркологическом диспансере (больнице) или медицинским работником медицинской организации по договору между организацией.

Работодателем определяется список профессий, требующих предсменного и послесменного медицинского освидетельствования (по характеристике выполняемых работ) и утверждается коллективным договором организации.

Работник проходит предсменное медицинское освидетельствование не ранее чем за тридцать минут до выхода в смену или до начала работы при предъявлении им путевого листа, а также документа, удостоверяющего личность.

Освидетельствование авиационного персонала проводится согласно «Правил медицинского освидетельствования и осмотра в гражданской авиации Республики Казахстан» [2]. При необходимости выполнения нескольких рейсов в течение дня предсменное медицинское освидетельствование проводится только перед первым рейсом и после последнего рейса.

В случае выявления при проведении предсменного медицинского освидетельствования работника травм, признаков острого или обострения хронического заболевания, повышения артериального давления, симптомов артериальной гипертонии, острого инфекционного заболевания, болевого синдрома, обморока и других нарушений состояния здоровья, работники не допускаются к смене и направляются на прием к специалисту для лечения и экспертизы временной нетрудоспособности. При необходимости работнику обеспечивается вызов скорой медицинской помощи.

Лица, в отношении которых имеются основания полагать, что они находятся в состоянии алкогольного, наркотического и (или) токсикоманического опьянения (запах алкоголя изо рта, неустойчивость позы, нарушение речи, выраженное дрожание пальцев, изменение окраски кожных покровов, положительное показание пробы алкогостера), не допускаются к работе [1]. Медицинский работник незамедлительно информирует об этом работодателя.

В случае выявления признаков нахождения лиц в состоянии алкогольного, наркотического и (или) токсикоманического опьянения работодатель не позднее двух часов с момента выявления направляет или доставляет их на освидетельствование в медицинскую организацию, уполномоченную проводить медицинское освидетельствование, для уста-

новления факта употребления психоактивного вещества или состояния опьянения [5].

После проведения предсменного и послесменного медицинского освидетельствования медицинский работник делает отметку о пригодности работника к работе на момент проведения предсменного медицинского освидетельствования и на путевых листах (нарядах) ставит штамп о прохождении медицинского осмотра.

Таким образом, на предприятиях проводятся медицинские осмотры, где работодатели создают условия для прохождения медицинских осмотров. Своевременность проведения и прохождения медицинских осмотров контролируется государственными органами, осуществляющими деятельность в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия населения, в сфере оказания медицинских услуг, и государственными инспекторами труда уполномоченного органа по труду.

#### Список литературы

1. Трудовой кодекс Республики Казахстан от 23 ноября 2015 года № 414 - V ЗРК. - <http://adilet.zan.kz>.
2. Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 5 июня 2017 года № 324 «Об утверждении Правил медицинского освидетельствования и осмотра в гражданской авиации Республики Казахстан». - <http://adilet.zan.kz>.
3. Приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 28 февраля 2015 года № 175 «Об утверждении Перечня вредных производственных факторов, профессий, при которых проводятся обязательные медицинские осмотры». - <http://adilet.zan.kz>.
4. Приказ и.о. Министра национальной экономики Республики Казахстан от 24 февраля 2015 года № 128 «Об утверждении Правил проведения обязательных медицинских осмотров». - <http://adilet.zan.kz>.
5. Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан от 13 июля 2017 года № 504 «Об утверждении Правил проведения медицинского освидетельствования для установления факта употребления психоактивного вещества и состояния опьянения». Сайт: <http://adilet.zan.kz>.
6. Кодекс Республики Казахстан от 18 сентября 2009 года № 193-IV «О здоровье народа и системе здравоохранения» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 04.07.2018 г.). - <http://online.zakon.kz>.

Получено 17.04.2019

---

---

## МАЗМУНЫ

ЖЕР ТУРАЛЫ ФЫЛЫМДАР ЖӘНЕ  
ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ФЫЛЫМДАР

- Ақылбаева А.Т., Мизерная М.А., Мизерный А.И., Капжапарова Ж.З., Мирошников А.П.* Батыс-Қалба аймағының (Шығыс Қазақстан) кварциты алтын көнді кен орындарының-минералдық шикізат базасын толықтыру перспективалары 3
- Ананин А.И., Нұршайықова Г.Т., Абдрабашева З.Ж.* Қазылған кеністікті қалауды колдана отырып, кентіректерді өндөу жолымен әзірлеудің камеральық-бағандық жүйесі кезінде кеннің шығынын темендету 8
- Ананина Е.А., Нұршайықова Г.Т., Амралинова Б.Б.* Алтынды цианидті шаймалаудың жатық қалдықтарын қайта көмү мүмкіндігін бағалау 13
- Апишкүр Б., Ипалақов Т.Т., Касымов Д.К.* Геосинтетикалық материалдармен күштілген жер төсемінін кернеулі-деформацияланған жағдайын есептеу 17
- Бакиров А.Г., Абдулина С.А., Жұпусов А.К.* Аксу энергетикалық компаниясының күл-кож қалдықтарының химиялық-минералологиялық құрамын зерттеу 25
- Күрманбай Б.П., Масенов К.Б., Битманов Е.Ж.* Орман өрттері кезіндегі экологиялық қауіпсіздік жағдайын экологиялық бағалау (жазғы кезең) 29
- Матайбаева И.Е., Фролова О.В., Амралинова Б.Б., Кузьмина О.Н., Айтбаева С.С., Ақылбаева А.Т., Тұңғышбаева З.К.* Қалба гранитоидтарының сирек металды кенденү 34
- Набиева А.А., Кулепова Н.А., Мамяченков С.В.* Factsage программалық өнімінің көмегімен мысты кетіру процесін термодинамикалық тұрғыдан модельдеу 41
- Саснугаева Г.Е., Кеңес Ж.Е., Рамазанова Н.Е., Түлебекова А.С.* «Қазфосфат» өндірісі шығарындыларының топырақ қабатына әсерін анықтау 45
- Саснугаева Г.Е., Махамбетова Н.М., Рамазанова Н.Е., Түлебекова А.С.* Оңтүстік Қазақстан облысы су корларының экологиялық мәселелері 49
- Черненко З.И., Матайбаева И.Е.* Белсу (Жарма-Сауыр ауданы) алтын көнді объектісінің перспективаларын бағалау және калыптастырудың геологиялық шарттары 53

## СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ  
И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Ақылбаева А.Т., Мизерная М.А., Мизерный А.И., Капжапарова Ж.З., Мирошников А.П.* Кварцево-жильные золоторудные месторождения Западно-Калбинской зоны (Восточный Казахстан) - перспективы восполнения минерально-сырьевой базы 3
- Ананин А.И., Нұршайықова Г.Т., Абдрабашева З.Ж.* Снижение потерь руды при камерно-столбовой системе разработки путем отработки целиков с применением закладки выработанного пространства 8
- Ананина Е.А., Нұршайықова Г.Т., Амралинова Б.Б.* Оценка возможности перезахоронения лежальных хвостов цианидного выщелачивания золота 13
- Апишкүр Б., Ипалақов Т.Т., Касымов Д.К.* Расчет напряженно-деформированного состояния земляного полотна, усиленного геосинтетическими материалами 17
- Бакиров А.Г., Абдулина С.А., Жұпусов А.К.* Исследование химико-минералогического состава золошлаковых отходов Аксуской энергетической компании 25
- Күрманбай Б.П., Масенов К.Б., Битманов Е.Ж.* Экологическая оценка состояния экологической безопасности при лесных пожарах (летний период) 29
- Матайбаева И.Е., Фролова О.В., Амралинова Б.Б., Кузьмина О.Н., Айтбаева С.С., Ақылбаева А.Т., Тұңғышбаева З.К.* Редкометалльное оруденение гранитоидов Калбы 34
- Набиева А.А., Кулепова Н.А., Мамяченков С.В.* Термодинамическое моделирование процесса грубого обезмеживания с использованием программного продукта Factsage 41
- Саснугаева Г.Е., Кеңес Ж.Е., Рамазанова Н.Е., Түлебекова А.С.* Оценка влияния производства «Қазфосфат» на почвенный покров 45
- Саснугаева Г.Е., Махамбетова Н.М., Рамазанова Н.Е., Түлебекова А.С.* Экологические проблемы водных ресурсов Южно-Казахстанской области 49
- Черненко З.И., Матайбаева И.Е.* Геологические условия формирования и оценка перспектив золоторудного объекта Бельсу (Жарма-Саурский район) 53

<b>Черненко З.И., Мизерная М.А.</b> Баладжалау кен орнының (Батыс Калба) алтын-березитті түрлөрінің түзілу ерекшеліктері және перспективасын бағалау	56	<b>Черненко З.И., Мизерная М.А.</b> Особенности образования и перспективная оценка золото-березитового типа месторождения Баладжалау (Западная Калба)	56
<b>ТЕХНИКАЛЫҚ ФЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР</b>		<b>ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ</b>	
<b>Абдулина С.А., Иващенко Е.Н., Саурбаева Б.С.</b> Мырыш фосфаты негізінде модификацияланған коррозияға карсы пигменттер алу	62	<b>Абдулина С.А., Иващенко Е.Н., Саурбаева Б.С.</b> Получение модифицированных антакоррозионных пигментов на основе фосфата цинка	62
<b>Алонцева Д.Л., Русакова А.В., Прохоренкова Н.В., Оразаметова С.М., Жилкашинова А.М.</b> Титан импланттарында плазмамен тозанданған биоуілесімді жабындардың кеуектілігін, кедір-бұдырылғын және коррозиялық тәзімділігін зерттеу	67	<b>Алонцева Д.Л., Русакова А.В., Прохоренкова Н.В., Оразаметова С.М., Жилкашинова А.М.</b> Исследование по-ристости, шероховатости и коррозионной стойкости биосовместимых покрытий, напыленных плазмой на титановые импланты	67
<b>Алонцева Д.Л., Қантай Н., Русакова А.В., Герт С.С., Джес А.В., Садибеков А.Б.</b> Роботтандырылған микроплазмалық тозандуа технологиясымен титан импланттарына биоуілесімді жабындарды қаптау	73	<b>Алонцева Д.Л., Қантай Н., Русакова А.В., Герт С.С., Джес А.В., Садибеков А.Б.</b> Роботизированная технология микроплазменного напыления биосовместимых покрытий на титановые имплантаты	73
<b>Бакланова О.Е., Рыжкова Е.В.</b> Компьютерлік көрү әдістерін пайдалана отырып, технологиялық бұйымдардың сапасын көзбен шоып бақылау	79	<b>Бакланова О.Е., Рыжкова Е.В.</b> Визуальный контроль качества технологических изделий с использованием методов компьютерного зрения	79
<b>Балғынова А.М., Мерекеқызы А.</b> Роторлық центрифуганы инженерлік есептегу әдістемесі	85	<b>Балғынова А.М., Мерекеқызы А.</b> Методика инженерного расчета роторной центрифуги	85
<b>Балғынова А.М.</b> Азықтық сырға берітпесін сусыздандыру үшін роторлық центрифуганың салыстырмалы экономикалық түйімділік көрсеткіштерін есептегу	91	<b>Балғынова А.М.</b> Расчет показателей сравнительной экономической эффективности роторной центрифуги для обезвоживания кормовой пивной дробины	91
<b>Балтаев Т.А., Кушалиев Д.К., Ерманова Б.А.</b> Метериалдың қасиеттері мен күрьылымының ультрадыбыстық механикалық тербелістер әсерінің нәтижесінен өзгеруін салыстырмалы талдау	95	<b>Балтаев Т.А., Кушалиев Д.К., Ерманова Б.А.</b> Сравнительный анализ изменения свойств и структуры материала в результате воздействия ультразвуковых механических колебаний	95
<b>Балтаев Т.А., Кушалиев Д.К., Ерманова Б.А.</b> Бұйымның геометриялық және механикалық параметрлерін тұрақтандырудың ультрадыбыстық әдісі	99	<b>Балтаев Т.А., Кушалиев Д.К., Ерманова Б.А.</b> Ультразвуковой метод стабилизации механических и геометрических параметров изделий	99
<b>Бестереков У., Ермеков С.Р.</b> Сұлы-тұзды жүйелердегі еріткіш құрамындағы температуралық сандық өзгерістер	104	<b>Бестереков У., Ермеков С.Р.</b> Температурные количественные изменения в составе растворителя в водно-солевых системах	104
<b>Блинаева Е.В., Блинаева Н.С., Ақбасова Д.Б., Попова Г.В., Нұрсадыкова Р.К.</b> Мұнай үлгілеріне инфрадыбыстық әсер ету бойынша эксперимент деректерін өндөу	112	<b>Блинаева Е.В., Блинаева Н.С., Ақбасова Д.Б., Попова Г.В., Нұрсадыкова Р.К.</b> Обработка данных эксперимента по инфразвуковому воздействию на образцы нефти	112

<b>Золотарёв В.В., Овечкин Г.В., Омирбаев Е.Д., Сатыбалдина Д.Ж., Ташатов Н.Н.</b> Сымсыз желіде жұмыс істеуге арналған Шенонн шекарасы маңындағы үйрткілі кодтарын декодтау алгоритмдерінің енімділігі	116	<b>Золотарёв В.В., Овечкин Г.В., Омирбаев Е.Д., Сатыбалдина Д.Ж., Ташатов Н.Н.</b> Производительность алгоритмов декодирования сверточных кодов вблизи граници Шеннона для работы в беспроводных сетях	116
<b>Иванова Т.С.</b> Жиіліктік-реттелетін электр жетегі (ЖРЖ), үздіксіз коректендіру көзі буыны (ҮКК) және белсенді түзеткішімен (БТ) электр желісінің имитациялық моделі	122	<b>Иванова Т.С.</b> Имитационная модель электрической сети с частотно-регулируемым электроприводом (ЧРП), звеном источника бесперебойного питания (ИБП) и активным выпрямителем (АВ)	122
<b>Кабикенов С.Ж., Жаркенов Н.Б., Данилов О.Ф., Макенов А.А.</b> Жоспарлы жұмыстарды орындау және машиналар паркін қолдану коэффициентін қамтамасыз ету үшін карьер автотүсіргілерінің сақтық корын есептеудің математикалық үлгісін күрү	130	<b>Кабикенов С.Ж., Жаркенов Н.Б., Данилов О.Ф., Макенов А.А.</b> Разработка математической модели расчета резерва карьерных автосамосвалов для обеспечения коэффициента использования парка машин и выполнения плановых работ	130
<b>Кантуреева М.А.</b> Жол қозғалысының сипаттамалары	135	<b>Кантуреева М.А.</b> Характеристики дорожного движения	135
<b>Карымсақова И.Б., Денисова Н.Ф.</b> Roboguide виртуалды симулятор көмегімен импланттарды манипуляциялық роботпен бұрку модельн құру үшін Эрмиттің төртінші ретті полиномдарын қолдану	139	<b>Карымсақова И.Б., Денисова Н.Ф.</b> Использование полиномов Эрмита четвертого порядка для создания модели напыления манипуляционным роботом имплантов при помощи виртуального симулятора Roboguide	139
<b>Кереев А.К., Атапов С.К., Оспанов Е.А.</b> Микроконтроллерде шикі мәліметтерді деңгейлестіру	145	<b>Кереев А.К., Атапов С.К., Оспанов Е.А.</b> Выравнивание сырых данных в микроконтроллерах	145
<b>Кушалиев Д.К., Балтаев Т.А., Ерманова Б.А.</b> Көлік техникасының тораптары үшін сырғанау мойынтрегінің жаңа құрылымын әзірлеу	149	<b>Кушалиев Д.К., Балтаев Т.А., Ерманова Б.А.</b> Разработка новой конструкции подшипника скольжения для узлов транспортной техники	149
<b>Плотников С.В., Лә Ф., Клиновицкая И.А.</b> Қазақстандық кремний негізінде фотоэлектрлік түрлendіргіштердің пайдалы әсер ету коэффициентін арттыру	154	<b>Плотников С.В., Лә Ф., Клиновицкая И.А.</b> Повышение коэффициента полезного действия фотоэлектрических преобразователей на основе казахстанского кремния	154
<b>Пилембаев М.К.</b> Бетон жамылғысы бар автомобиль жолдарын күтіп ұстаудың жаңа тұжырымдамасы (парадигмасы)	161	<b>Пилембаев М.К.</b> Новая концепция (парадигма) содержания автомобильных дорог с бетонным покрытием	161
<b>Увалиева И.М., Бельгинова С.А.</b> Денсаулық сактау көрсеткіштерін аналитикалық өндөу жүйесінің функционалдық модельн әсір үшін коэффициентін арттыру	166	<b>Увалиева И.М., Бельгинова С.А.</b> Создание функциональной модели системы аналитической обработки показателей здравоохранения и ее программная реализация	166
<b>Юрлов В.Л., Даумова Г.К., Иоршиева Ж.К., Петрова О.А.</b> Құрамында май бар шламдар қоспасының онтайлы құрамын калпына келтіру үшін зерттеу	174	<b>Юрлов В.Л., Даумова Г.К., Иоршиева Ж.К., Петрова О.А.</b> Исследование оптимального состава смеси маслосодержащих шламов для рекультивации	174

---

## ЭКОЛОГИЯ

---

<b>Абдрахманова Н.Б., Есельханова Г.А., Шорманов С.Т.</b> Жақын шет елдердегі өндірістегі жазатайым оқигаларды тергеп-тексеру бойынша заннаманың салыстырмалы талдауы	182
---	-----

---

## ЭКОЛОГИЯ

---

<b>Абдрахманова Н.Б., Есельханова Г.А., Шорманов С.Т.</b> Сравнительный анализ законодательства по расследованию несчастных случаев на производстве в странах ближнего зарубежья	182
--	-----

---

<b>Бекеева С.А., Жанкулова Л.К., Киязов Е.Ж.</b> Байыту фабрикасы қызметкерлерінің функционалдық жағдайына еңбек талаптарының әсері	187	<b>Бекеева С.А., Жанкулова Л.К., Киязов Е.Ж.</b> Влияние условий труда на функциональное состояние работников обогатительной фабрики	187
<b>Бекенова М.А.</b> Кәсіпорындарда қызметкерлерге медициналық қызмет көрсетуді үйімдастыру	193	<b>Бекенова М.А.</b> Организация медицинского обслуживания работников на предприятиях	193

---

**Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік  
техникалық университетінің ХАБАРШЫСЫ**

Фылыми журнал  
1998 жылы шыға бастады.

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық келісім министрлігінде тіркеліп,  
1998 ж. 27 ақпанында № 145-ж қуәлігі берілген.

**ВЕСТНИК Восточно-Казахстанского государственного  
технического университета имени Д. Серикбаева**

Научный журнал  
Издаётся с 1998 г.

Зарегистрирован Министерством информации и общественного согласия  
Республики Казахстан. Свидетельство № 145-ж от 27 февраля 1998 г.

Редакторы - Редакторы

С.Е. Волкова, С.С. Мамыраздыкова

Корректоры - Корректоры

С.Е. Волкова, С.С. Мамыраздыкова

Руководитель издательства О.Н. Николаенко

Материалы в компьютере төрген  
және беттеген

Набор, вёрстка,  
изготовление оригинал-макета  
С.Е. Волкова

Басуга 17.05.2019 қол қойылды.

Форматы 84×108/16. Офсет қағазы.

Көлемі: 20,42 есептік баспа табагы, 21,51 шартты баспа  
табагы Таралымы 350 дана. № 719-2019 тапсырыс.

Бағасы келісім бойынша.

Подписано в печать 17.05.2019.

Формат 84×108/16. Бумага офсетная.

Объем: 20,42 уч.-изд. л., 21,51 усл. печ. л.

Тираж 350 экз. Заказ № 719-2019.

Цена договорная.

Шығыс Қазақстан мемлекеттік  
техникалық университеті  
070004, Өскемен қаласы, Протозанов көшесі, 69

Восточно-Казахстанский государственный  
технический университет  
070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69