



Д. Серікбаев  
атындағы  
Шығыс Қазақстан  
мемлекеттік техникалық  
университетінің

## **ХАБАРШЫСЫ**



## **ВЕСТНИК**

Восточно-Казахстанского  
государственного технического  
университета  
имени  
Д. Серикбаева

2

Регистрационный № 145-ж

№ 2 (80), июнь, 2018

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**

ректор, 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.

ISSN 1561- 4212

© Восточно-Казахстанский  
государственный технический  
университет им. Д. Серикбаева,  
2018



УДК 669.2

**Е.Т. Абсентов, А.М. Сарсенов, Ф.Р. Ермаканова, А.Т. Абылгазинова, К.К. Айтлесов**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана

**К.К. Лепесов**

Независимая лаборатория ТОО «ЖасылЭкоЛаб», г. Астана

**КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПРОИЗВОДСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХРОМОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАЗАХСТАНА**

*В статье рассмотрены проблемы повышения эффективности производства и использования минерального сырья, в частности хрома. Анализ проведенных исследований показал, что одним из компонентов шихты могут стать забалансовые никельсодержащие и медные руды Ак-тюбинской области, так как эти руды часто содержат драгметаллы.*

*Бұл мақалада минералды шихтамы, атап айтқанда хромды қолдану және өндірісті тиімді арттыру мәселелері қаралды. Ақтөбе облысында жүргізілген зерттеулердің талдауы көрсеткендей, шихтаның бір компонентіне никельқұрамды және мыс рудалары, сонымен қатар асыл металдар кіреді.*

*The article considers the problems of increasing the efficiency of production and use of mineral raw materials, in particular chromium. An analysis of the conducted studies has shown that one of the components of the charge can become, for the balance nickel containing and copper ore of the Aktobe region, since these ores often contain precious metals.*

**Ключевые слова:** минеральное сырье, хром, ферросплав, магнезиально-силикатный состав.

Казахстан занимает видное место в мировой хромовой промышленности и стоит на втором и третьем месте по добыче руды и производству феррохрома соответственно. Казахстан является вторым по величине экспортером хромовой руды и феррохрома после Южной Африки. Республика Казахстан занимает первое место в мире по разведенным запасам хромитовых руд.

В столице Казахстана городе Астане в апреле 2017 г. прошла встреча членов Международной ассоциации по разработке месторождений хрома (ICDA), на которой обсуждали успешное участие АО ТНК «Казхром», входящего в состав горнometаллургической группы Eurasian Resources Group (ERG), в реализации госпрограммы индустриально-инновационного развития республики по третьей модернизации Казахстана с внедрением элементов индустрии 4.0. Собрание участников ICDA является встречей профессионалов мировой хромовой промышленности включая специалистов по добыче, переработке, потреблению, торговле и представлению услуг. Отмечено, что последние макроэкономические показатели и новейшие движущие силы данных сегментов рынка имеют положительные тенденции. В июне 2017 г. рейтинговое агентство Standard & Pools Global Ratings повысило финансовый рейтинг ERG с Gaa до B3 (прогноз «стабильный»).

Два года назад была запущена корпоративная программа по модернизации и повышению эффективности производственных процессов и 10% снижению себестоимости ферросплавов, окатышей и угля. Экономическая отдача от «Проекта 10%» в 2016 году составила 68 млн долларов США, а за первое полугодие 2017 г. уже 49 млн долларов. Было инициировано 700 новаторских проектов, 400 из которых в стадии отслеживания эффекта. Масштабы проектов различные: от разработки специальных приспособлений для карьерных самосвалов и технологий самостоятельного восстановления изношенных дета-

лей механизмов до реконструкции целого железнодорожного карьера и внедрения энергоэффективных технологий.

Энергоэффективность – одно из ключевых направлений деятельности группы. Только за последние годы осуществлен ряд крупных проектов, таких как расширение газомазутной котельной Аксусского завода ферросплавов, реконструкция энергоблоков Аксусской электростанции. Начата реновация шестого цеха АксЗФ АО ТНК «Казхром».

В 2013 году дивизион ферросплавов ERG стал первым в Казахстане горно-металлургическим бизнесом, сертифицированным по стандарту ISO 50001/EN 16001 (международный стандарт для систем управления энергопотреблением). По итогам минувшего года все предприятия группы в Казахстане внедрили систему управления энергопотреблением ISO 50001 и удачно прошли сертификационные и надзорные аудиты.

В период с 2014 по 2016 год все основные подразделения группы, работающие в Казахстане и зарегистрированные в государственном энергетическом регистре, прошли энергоаудит. Его результаты легли в основу разработки долгосрочной программы по управлению потреблением энергии и повышению эффективности ее использования на период до 2020 года. Ее претворение в жизнь значительно уменьшит потребление энергии и топлива (электроэнергии – до 323268,88 тыс. КВт/ч, тепла – до 98629,34 Гкал, котельно-печного топлива (уголь, мазут, солярка и керосин) – до 27644,21 т условного топлива, моторного горючего (бензин и солярка) – до 1720,35 тыс. т).

АО «Шубарколь комир» занимается исследованиями по разработке технологии выпуска полифункциональных сорбентов из местных выветренных углей. В пересчете на органическую массу выветренные угли Шубаркольского месторождения содержат до 91% гумусовых кислот, являющихся продуктами переработки древней органики. В свою очередь гумусовые кислоты подразделяются на гуминовые и фульвокислоты, причем если последние находят свое применение в аграрном секторе, то гуминовые продукты могут быть использованы при очистке промышленных стоков от тяжелых металлов.

Совместно со специальной экономической зоной «Парк информационных технологий» нами просчитаны варианты организации производства абсолютно новых видов продукции, в том числе порошка для 3D-принтеров. В сотрудничестве с Назарбаев Университетом ведется работа по получению графенов и фуллеренов на подложке из жидкого галлия.

В ERG создан научно-исследовательский инжиниринговый центр, который занимается проблемами доизвлечения и попутного извлечения ценных компонентов полезных ископаемых в черной и цветной металлургии. Эта работа ведется с участием как Назарбаев Университета, так и Международного института технологий (МИТ) университета Тель-Авива. Осуществляется комплексный учет и анализ всех видов отходов, внедряются проекты по их переработке, а именно: отсадка и доизвлечение ферросплавов из шлаков, сухое обогащение углей, получение силикатных микросфер из золы ТЭС, извлечение кобальта из отвальных «хвостов». Так, только внедрение проекта по доизвлечению ферросплавов из шлаков, которые ранее складировались как отходы, позволит при инвестициях в объеме 8 миллионов долларов дать дополнительный ежегодный источник дохода до 100 миллионов долларов.

Четвертая промышленная революция в первую очередь предполагает массовое внедрение киберфизических систем, то есть интеграцию вычислительных ресурсов в производственные процессы, где все датчики, оборудование и информационные базы объединены в одном общем центре обработки данных большой мощности. В ERG достаточно успешно внедряется подобная ИТ-инфраструктура, состоящая из более 13 тысяч компьютеров, 88 тысяч датчиков, 237 автоматизированных систем управления технологическими процессами. Начата интеграция всех информационных потоков на базе систем автоматического регулирования SAP с последующим построением центра дистанционного управления и контроля.

На всех горнодобывающих предприятиях Евразийской группы внедрены геоинформационные системы. Они позволяют в режиме реального времени моделировать месторождения в 3D-формате, планировать обработку, искать альтернативы и определять оптимальный вариант горных работ в перспективе. Для оценки положения дел на карьерах и оперативного мониторинга соблюдения требований промышленной безопасности используются дроны, которые с воздуха ведут непрерывную аэрофотосъемку всех объектов. Группа ERG уже вложила в новую киберсистему 250 миллионов долларов и в дальнейшем намерена планомерно увеличивать инвестиции в эту сферу.

Передовые технологии требуют абсолютно нового уровня подготовки персонала. В связи с этим на предприятия подгото- влен и отправлен десант из 250 высококлассных специалистов в области ИТ и автоматизации производства. Они уже переобучили 8 тысяч работников. Кроме того, для повышения квалификации сотрудников открыта академия ERG, основная цель которой – повысить профессиональные и личностные компетенции каждого из 60 с лишним тысяч работников группы ERG. За счет передовых технологий и элементов автоматизации рассчитывается увеличить производительность труда на 20-30%.

Отработана и успешно используется новая высокопроизводительная технология проходки горизонта 480 метров, уникальность которой заключается в адаптации современных инновационных методов к местным условиям. В г. Актобе запущен цех № 4, а де-факто – новый современный ферросплавный завод. В Карагандинской области строится завод комплексных ферросплавов. В текущем году стартовала реновация шестого цеха на Аксуском заводе, которая позволит более чем на треть (на 35%) повысить производительность плавильных агрегатов, сократив при этом за счет подогрева шихты ферросплавным газом расход электроэнергии на 25%. В настоящее время применение феррогаза в металлургических процессах на АксЗФ составляет более 50%, и в среднесрочной перспективе заводчане намерены использовать его также для выработки тепловой энергии. Полученный опыт затем будет использован при реновации других цехов данного предприятия и аналогичных производств.

Существенной модернизации подвергают цеха по переработке шлаков на обоих ферросплавных заводах группы. Так, на АксЗФ внедряется новое высокоэффективное оборудование крупнокусковой отсадки, что вдвое повысит производительность и даст возможность начать переработку ранее накопленных шлаков с выделением из них металла и получением шлакового щебня, который востребован в промышленно-гражданском строительстве.

Впервые в мировой хромовой отрасли на Актибинском заводе ферросплавов внедряется производство брикетов методом жесткой экструзии. Данная технология, разработанная специалистами компании «Казхром», вернет в металлургический передел все образующиеся пылевидные хромосодержащие материалы. Это почти 90% исходного сырья. Запуск агрегата производительностью 80 тысяч тонн брикетов в год знаменуют собой рождение целого комплекса технологий по переработке тонкодисперсных отходов.

Осуществление программы модернизации во многом и привело к заключению новых и возобновлению приостановленных контрактов. Причем успехи в части повышения качества и, как следствие, конкурентоспособности железорудной продукции позволило АО «Соколовско-Сарбайское горно-производственное объединение» (далее - ССГПО) завоевать звание «Лучший поставщик». Так казахстанскую компанию оценил ее российский партнер – Магнитогорский металлургический комбинат (далее - ММК), подводя итоги работы за минувший год.

Согласно условиям нового контракта, начавшего действовать в текущем году, ССГПО в течение ближайших трех лет должно поставить на ММК более 30 миллионов тонн железорудного сырья, включая окатыши и рудный концентрат. Годовой объем производства объединения на сегодня – более 10 миллионов тонн. По признанию сторон, этот договор

стал крупнейшим в отрасли за последние годы. И тут видятся серьезные возможности для дальнейшего наращивания производства [1, 2].

Рудовмещающие и вскрышные породы Донского горно-обогатительного комбината (далее - Дон ГОК), а также отходы переработки хромитовых руд имеют фактически неограниченные запасы магния, т.к. содержат оксид магния MgO до 40%. К достаточно богатому по магнию сырью можно отнести также хвосты обогащения Дон ГОК и пыли газоочисток ОАО «Феррохром». На основе магнийсодержащего сырья наиболее реально и целесообразно производить некоторые виды конечной продукции, которые являются на рынке достаточно дефицитными. Магнийсодержащее сырье, например, рационально использовать не только для получения сопутствующих элементов (например, в виде комплексного сплава алюмосиликохрома), но и металлического магния, MgO высокой чистоты (магнезита), огнеупоров, строительных материалов, минеральных удобрений и т.д.

Магнезиальносиликатные огнеупоры имеют высокую стойкость, инертность, окалиноустойчивость. Сырьем для их производства могут служить все ультраосновные породы Кемпирсайского месторождения Актюбинской области Казахстана. Главными минералами в этих породах являются оливин (смешанный силикат магния и железа) и серпентин (водный силикат магния).

До недавнего времени магнезиальные огнеупоры в России производил комбинат «Магнезит», который давал 100% магнезитового (периклазового) порошка, добываемого из Саткинского месторождения, но стоимость их добычи возросла, а качество магнезитов ухудшилось. Поэтому перспективно во многих тепловых и металлургических агрегатах магнезиальные огнеупоры заменять магнезиально-силикатными. Потребность в этих огнеупорах магнезиально-силикатного состава определяется более чем в 500 тыс. т/год для металлургической, химической, керамической, фарфорофаянсовой, стекольной и цементной промышленности на территории СНГ [2-4]. Магнезиально-силикатные отходы ДонГОК могут являться эффективным флюсом при выплавке силикомарганца, так как служат дополнительным источником магния и кремния, а также повышают извлечения марганца в сплав.

Интересно отметить, что имеется оригинальная малоотходная технология получения MgO из некондиционных хромитовых руд, которая заключается в переводе оксида магния в растворимое состояние (бикарбонат магния) путем барботажа через пульпу углекислого газа. При этом идет следующая химическая реакция:



В качестве источника CO<sub>2</sub> рационально использовать практически бесплатные отходящие газы ТЭЦ.

После окончания реакции растворенный бикарбонат магния отфильтровывают и из полученного раствора нагреванием (45-50 °C) выделяют основной карбонат магния. Этот продукт прокаливанием переводят в оксид магния. Основной карбонат магния самостоятельно находит применение в промышленности для изготовления высококачественных теплоизоляционных материалов. MgO используют как наполнитель и усилитель в резиновых смесях, для очистки нефтепродуктов, для изготовления магнезиальных цементов, различных стройматериалов, огнеупоров и т.д. [5, 6].

После отделения MgO исходная бедная руда обогащается пропорционально количеству (весу) отделенной окиси магния. Перспективно производство плавленых кремнегельмагнийфосфорных удобрений, которые получают совместной плавкой магнезиально-силикатных отходов и некондиционных фосфоритов Чилисая Актюбинской области. Из этих термофосфорных удобрений усвоение фосфора растениями в два раза выше, чем из двойного суперфосфата. К тому же термофосфаты обладают самой низкой стоимостью по сравнению с другими фосфорными удобрениями (около 100 долларов в расчет на 1 т P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Безрудные магнезиально-силикатные породы вскрыши пригодны для получения белой магнезии MgO по соляно-кислотной технологии с чистотой 99% [3-5].

Хромитовые руды содержат в качестве микропримеси платиноиды.

Прогнозные ресурсы платиновых металлов для всего главного рудного тела Кемпирская оцениваются более чем в 700 т. Для сравнения, по опубликованным данным правительственные запасы США во второй половине 90-х годов составляли 23,82 т палладия; 0,47 т рутения, 0,44 т ирида.

Наиболее ценной примесью являются элементы платиновой группы (далее - ЭПГ), средняя концентрация которых в рудах составляет 0,7 г/т. Это содержание имеет промышленное значение, но из-за отсутствия технологии обогащения ЭПГ уходят в отвалы. Представлены ЭПГ тугоплавкими редкими платиноидами: Os, Ir, Ru (95% от суммы); собственные минералы ЭПГ представлены осмиемовым лауритом, иридосмином, рутеносмином, ирарситом и др. Присутствуют они в форме тонких (5-50 мкм) вростков в арсенидах, сульфидах железа и меди, хромшпинелидах и силикатах. Систематические данные о распределении ЭПГ в процессах обогащения отсутствуют.

В гравитационном концентрате технологической пробы месторождения Поисковое Уралмехнабором получены следующие содержания ЭПГ, г/т: Os 0,250; Ir 0,16; Ru 0,14 [7]. Зёрна собственных минералов ЭПГ, имеющих гравитационную крупность, не обнаружены.

Опыты по обогащению хромитовой руды, измельченной до крупности 0,071 мм, показали принципиальную возможность получения флотационного концентрата (обогащения платиноидами сульфиднохромшпинелидового продукта), содержащего Os – до 5 г/т, Ir – до 3 г/т, Ru – до 1 г/т. Выход платиноидов составляет 0,5-3%, а извлечение 10-25%.

При современной цене на платиновые металлы более 500 долларов США за унцию (31,1 г) и общих запасах платиноидов Кемпирская в 700 т простейший расчет показывает, что стоимость платиноидов оценивают почти в 10 млн долларов США. Если в первом приближении 50% суммы отнести к накладным расходам, то суммарный экономический эффект извлечения ЭПГ составит 5 млн долларов.

В технологии редких металлов, например при получении золота, существует метод эффективного комбинирования пиро- и гидрометаллогических процессов, когда упорные трудно вскрываемые руды подвергаются переплавке с получением комплексного сплава «королёк», в котором проводят концентрирование ценного компонента. «Королёк» далее подвергают гидрометаллургическому переделу и аффинажу с получением ценного металла [6, 7].

Для извлечения платиноидов принципиально возможно и перспективно применение аналогичной технологии путём управления поведением платиноидов как при плавке некондиционных руд, так и в основном традиционном процессе получения ферростратов. Одним из компонентов шихты могут стать, с целью увеличения степени ресурсосбережения, забалансовые никельсодержащие и медные руды Актюбинской области, так как эти руды часто содержат драгметаллы.

#### Список литературы

1. Каскин К.К. Научные и технологические основы выплавки хромосодержащих сплавов с использованием некондиционного сырья Казахстана. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2015.- 231 с.
2. Машкевич А.А. Модернизируем производство, трансформируем мышление // Казахстанская правда. - 2017. - 7 сент. - С. 6.
3. Сарсенов А.М. Экологическая безопасность и ресурсосбережение при переработке хромитовых и боратовых руд. – Алматы: Высшая школа, 2000. – 233 с.
4. Техногенное минеральное сырье рудных месторождений Казахстана: Справочник. – Алматы, 2000. – 256 с.
5. Каскин К.К. Комплексная переработка отходов ферросплавного производства и хромовых

- руд с получением магнийсодержащих материалов / К.К. Каскин, А.М. Сарсенов // Современные проблемы электрометаллургии стали: сб. науч. тр. – Челябинск, 2004. – С. 229-232.
6. А. С. № 592121 СССР. Способ извлечения золота анодным растворением / Г.А. Ягодин, М.Ж. Журинов, А.М. Сарсенов (СССР). - 15.10.1977.
  7. Каскин К.К. Перспективы извлечения некоторых металлов из сырья и отходов ферросплавного производства / К.К. Каскин, А.М. Сарсенов, К.Ж. Симбатов // Вестник ЮУрГУ. Серия Металлургия. - 2013. – Т. 13. - № 1. – С. 191-192.

Получено 18.04.2018

---

УДК 574.24

**Е.Т. Абсентов, А.М. Сарсенов, К.У. Тогузбаев, К.Б. Масенов**

**К.К. Айтлесов, Д.А. Емутбаева**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТЕНИЙ ТОМАТОВ В КАЧЕСТВЕ БИОИНДИКАТОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
СОЕДИНЕНИЙ ХРОМА В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ**

*В статье ставится задача рассмотреть растения томатов в качестве биоиндикатора для определения соединений хрома в окружающей среде. На основе проведенного исследования авторами предлагается в качестве биоиндикатора использовать томаты, которые позволяют уменьшить наиболее опасные вещества в соединениях хрома, тем самым не теряя натуральные свойства в продуктах питания.*

*Бұл мақалада қоршаган ортадағы хром қосылыстарын анықтау үшін биоиндикатор ретінде қызанақ өсімдігін қолдану міндетті қойылды. Авторлардың жүргізген зерттеулері негізінде биоиндикатор ретінде қызанақты қолдану ұсынылды, ол хром қосындыларындағы қауіпті заттардың азаюна мүмкіндік береді, сонымен қатар азық-түліктердің табиги қасиетін жоғалтпайды.*

*The article aims to consider tomato plants as a bio indicator for the determination of chromium compounds in the environment. Based on the study conducted by the authors, it is proposed to use tomatoes as a bio indicator, which will allow to reduce the most dangerous substances in chromium compounds, thereby not losing natural properties in food products.*

**Ключевые слова:** хромовая пыль, заболевания, томат, иммунитет растений, биоиндикатор.

На всех стадиях эволюционного развития человек тесно связан с окружающим миром. После появления индустриального общества воздействие человека на природу резко усилилось и сейчас стало глобальной опасностью для планеты. Человеку приходится все больше вмешиваться в биосферу той части нашей планеты, в которой существует жизнь. В настоящее время биосфера Земли подвергается антропогенному воздействию в десятки раз больше, чем в XX веке. Расход невозобновимых видов сырья повышается, все больше пахотных земель выбывает из экономики, так как на них строятся города и заводы. Загрязнение воздуха вызывает легочные и аллергические заболевания [1].

«Сегодня плохая экологическая обстановка является причиной 20% смертей, а в некоторых регионах ситуация еще хуже. Треть наших соотечественников используют некачественную питьевую воду. Экологические, санитарно-эпидемиологические службы и органы стандартизации должны работать в соответствии с приоритетностью поставленных целей, нужно поставить мощный и эшелонированный заслон для поставщиков и производителей некачественных пищевых продуктов, всех, кто загрязняет природную среду» - говорится в послании президента РК Н.А. Назарбаева народу Казахстана «Казахстан-2030» [2, 3].

Хром относится к классическим микроэлементам, он жизненно необходим для живых организмов. Он необходим нашему организму в определенных дозах, но если его слиш-

ком много, он опасен. Считается, что нормой для взрослого человека является 150 мг в стуки. Если содержание хрома соответствует норме, то происходит усвоение глюкозы, а если снижено, то уровень холестерина и сахара повышается. Снижение содержания хрома в пище и крови приводит к уменьшению скорости роста, увеличению холестерина в крови и снижению чувствительности периферийных тканей к инсулину [1].

Этот тяжелый металл проникает в организм с продуктами питания и ничем оттуда не выводится, поражая печень, почки, желудочно-кишечный тракт, слизистые, органы дыхания. Хром содержится в медной пыли и других шлаках. Именно хром вызывает заболевание астмой.

Среднее содержание хрома в растениях 0,0005% (92-95% хрома накапливается в корнях), у животных – 0,000001-0,0001%. В планктонных организмах коэффициент накопления хрома изменяется – от  $10 \times 10^{-4}$  до  $26 \times 10^{-4}$  моль/л. Высшие растения не переносят концентрации хрома выше  $3 \times 10^{-4}$  моль/л. В листьях он присутствует в виде низкомолекулярного комплекса, не связанного с субклеточными структурами. У животных хром участвует в обмене липидов, белков, углеводов. Основной источник поступления хрома в организм животных и человека – пища.

Люди, работающие в контакте с хромом и вдыхающие хромовую пыль, заболевают раком в 20-30 раз чаще тех, кто не соприкасается с хромосодержащими веществами. Большое количество хрома обнаруживается в воздухе промышленных районов, если на предприятии отсутствует хорошая пылеулавливающая система.

Концентрация хрома в атмосферном воздухе сельских районов не превышает 0, мкг/м<sup>3</sup>, в окружении завода по производству ферросплавов достигает несколько мкг/м<sup>3</sup>. Химическая форма хрома в атмосферном воздухе зависит от характера выброса, в воздухе около металлургических предприятий это обычно трехвалентный хром ( $\text{Cr}^{+3}$ ). В воде содержание хрома колеблется от 1 до 30 мкг/л. Канцерогенный ( $\text{Cr}^{+6}$ ) определяется в воздухе 9-ти городов с использованием селективным методов анализа. Повышение ПДН отмечается только в нескольких городах [3]. Исследования ученых показывают, что в составе пыли при северо-западных направлениях ветра обнаруживается в 15% проб специфический и опасный загрязнитель – хромовый ангидрид. Проведенный многолетний анализ заболеваемости взрослого и детского населения, проживающего в жилом городке г. Актобе (район активного воздействия промышленных предприятий), показал, что уровень общей заболеваемости в 3-4 раза выше, чем в старой части города.

Запад Казахстана является универсальным по богатству и разнообразию полезных ископаемых из всего Казахстана. В Актюбинском регионе хорошо развита metallurgическая промышленность, в частности добыча хромовых руд.

Актобе входит в пятерку наиболее загрязненных городов Казахстана с индексом загрязнения 10,5 единиц при норме 5 единиц. Среднегодовой выброс загрязняющих веществ в атмосферу города составляет более 60000 т от стационарных и передвижных источников, причем выбросы от передвижных составляют более 53000 т или 86% от всех валовых выбросов города.

Актюбинский регион можно объявить зоной экологического бедствия. Летом в полупустынном регионе стало жарче обычного, зимы стали теплее, морозы слабее. Почва перенасыщена ядовитыми веществами, заметно теряет плодородие. По наблюдением казахстанских ученых усилился парниковый эффект, когда вместо обычных морозов в декабре идут дожди. Воздушный бассейн города Актобе больше всех загрязняют такие предприятия, как АЗФ АОА «ТНК«КазХром» и ДГОК «ТНК«КазХром» - более 3 500 т в год, АОА «АЗХ» - около 3 000 т, ЗАО «Актобе ТЭЦ» - более 1500 т в год и др. [2].

Река Илек и питьевые источники Актюбинского региона заражены еще и борной кислотой, подземная вода перенасыщена шестивалентным хромом (до 23 ПДН) и бором (до

40 ПДН). Проблема загрязнения реки Илек хромом стала уже исторической и актуальной для соседней Оренбургской области. Хром обнаружен в реке Урал, попал в Каспий и взялся отслаивать ткани от костей осетровых рыб, он может наделать немало бед на своем пути к разрушению всего живого, если не решить эту проблему.

Собрав и сравнив статистические данные, мы пришли к выводу, что из года в год в городе, среди населения г. Хромтау наблюдается рост заболеваний, что указывает на влияние ионов хрома на здоровье человека (рис. 1-3). Данные приведены в количестве заболевших на 1000 человек населения в 2006 – 2016 гг.

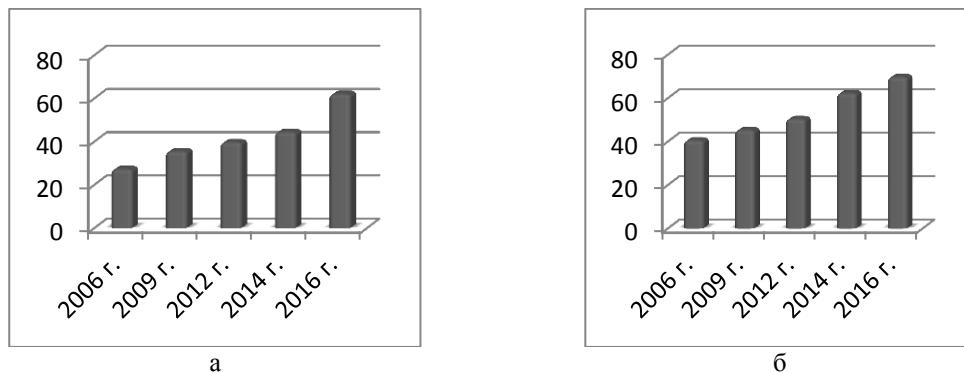


Рисунок 1 - Статистические данные заболеваемости рабочих г. Хромтау:  
а - статистика заболеваемости зрения и слуха; б - статистика пациентов,  
прошедших курс лечения зубов (кариес)

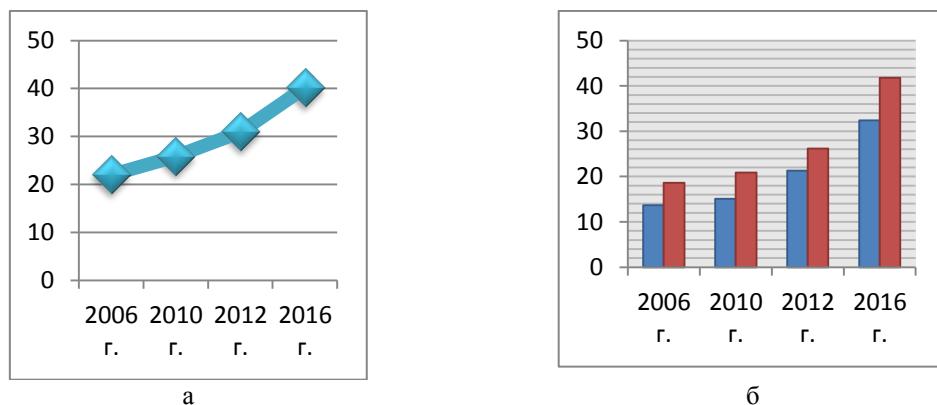


Рисунок 2 - Статистические данные заболеваемости рабочих г. Хромтау:  
а - статистика заболеваний дыхательных путей; б - уровень заболеваемости пищеварительной  
системы среди рабочих

Из рис. 1-3 видно, что наблюдается быстрый рост заболеваемости различными видами болезней в данном регионе. За 2016 год (рис. 3) в г. Хромтау наибольшее число заболеваний среди рабочих занимал рак легких (36%).

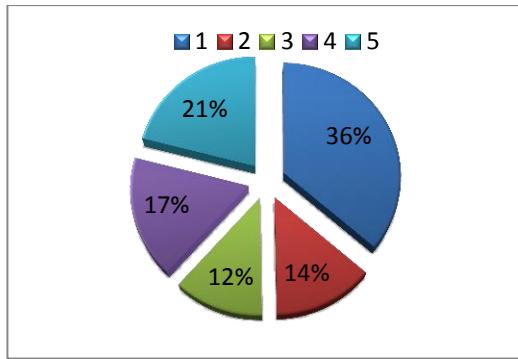


Рисунок 3 – Диаграмма заболеваемости раковыми заболеваниями рабочих г. Хромтау за 2016 год:  
1 - рак молочной железы; 2 - рак кожи; 3 - рак шейки; 4 - рак легких; 5 - другие органы

Избыточное содержание хрома токсично и для растений. При интоксикации изменяется окраска листьев, что свидетельствует о нарушении синтеза хлорофилла. Кроме того, происходит угнетение роста, задержка развития растений. В почве, ягодах и овощах недалеко от комбината отмечается значительное накопление хрома. Его соединения в организме человека восстанавливаются до трехвалентного. При воздействии шестивалентного хрома происходит заражение дыхательных путей, развиваются бронхоспазм и бронхиальная астма, аллергические заболевания кожи – дерматиты, язвы, хромовые экземы. Пороговая доза, вызывающая раздражения дыхательных путей у рабочих, составляет 25 мкг/м<sup>3</sup>.

Длительное воздействие хрома в концентрациях, превышающих 1 мкг/м<sup>3</sup>, может вызвать раздражение слизистой оболочки носа, ее атрофию, изъявление и перфографию носовой перегородки. Канцерогенная опасность шестивалентного хрома ( $\text{Cr}^{+6}$ ) доказана для рабочих, имеющих профессиональный контакт с высокими концентрациями этого вещества. Увеличение риска рака легкого происходит при длительном воздействии шестивалентного хрома в концентрациях более 11 мкг/м<sup>3</sup> [1, 3].

Рассмотрим гигиенические нормативы Казахстана по сравнению с США в таблице, из которой видно, что предельно допустимые нормы (далее - ПДН) в воздухе в разных штатах США изменяются в весьма широких пределах, а в воде и на массу тела одинаковы. Из газообразной и твердой фазы хром достаточно легко перевести в жидкую фазу воды соответственно методом абсорбции или экстракции. А в воде удобно определять хром с помощью биоиндикаторов.

#### *Гигиенические нормативы*

Страна	Содержание хрома в воздухе, ПДН, мкг/м <sup>3</sup>	Содержание хрома в питьевой воде, ПДН, мкг/л	Доза эквивалентная на массу тела, мкг/м <sup>3</sup>
Казахстан	0,01	0,05	0,0025
США	Флорида, Канзас	0,000083	0,0025
	Монтана	0,07	
	Нью-Йорк	0,167	
	Массачусетс	0,68	

В связи с этим мы выбрали растения сладкого перца и томата для исследования возможности его применения в качестве биоиндикатора на ионы хрома, растворенные в воде. Рас-

твторы хрома (6+) и хрома (3+) имели концентрацию 10 ПДН, соответственно, 0,5 и 5,0 мкл/л. Для работы использовали томаты сорта «Аурия», а сладкого перца сорта «Табаско».

Для выяснения влияния хрома на рост растений в течение лета 2010 года проводились опыты и наблюдения на томатах и сладком перце. В конце мая в три ящика для наблюдений была высажена рассада помидоров, выращенных в одинаковых условиях. Контрольную рассаду (образец 1) поливали чистой питьевой водой, рассаду в двух остальных ящиках растворами 3- и 6-валентного хрома. К концу опыта выяснилось следующее:

- образец 2 (куст помидора, который поливался раствором 3-валентного хрома) значительно отличался от контрольного образца: отставание в росте, плоды меньше, чем у контрольного образца;

- образец 3 (куст помидора, который поливался раствором 6-валентного хрома) отстал в росте значительно больше, нежели образец 2, стебель был желтого оттенка, плоды мелкие и гнилые (рис. 4).

Аналогично проводились опыты на сладком перце (рис. 5).

Образец	Рассада после длительного полива	Урожай
Образец 1 (контрольный образец)		
Образец 2		
Образец 3		

Рисунок 4 – Образцы томатов после полива растворами хрома

Образец	Рассада после длительного полива	Урожай
Образец 1 (контрольный образец)		
Образец 2		
Образец 3		

Рисунок 5 – Образцы сладкого перца после полива растворами хрома

Величина средней урожайности для сладкого перца снижалась в 8-9 раз.

Из рис. 4, 5 видно, что в качестве биоиндикатора более целесообразно использовать томаты, чем растения сладкого перца. Следует отметить, что полученные результаты имеют предварительный характер. Однако можно сделать заключение о том, что у растений томатов хром (3+) сильнее снижает иммунитет, вызывая загнивание плодов. Хром (6+) также значительно уменьшает биомассу растений, но в меньшей степени, чем ионы хрома (3+).

Интересно отметить, что на основе томатов возможна разработка биоиндикатора, который реагирует на оба вида валентного состояния ионов хрома.

#### Список литературы:

- Гасина М.Н. Хром Казахстана: Справочник / М.Н. Гасина, В.И. Гриценко, В.Н. Шашкин. - 2005. - 262 с.

2. Послание Президента Республики Казахстан Н.А. Назарбаева «Казахстан-2030».
3. Сарсенов А.М. Ресурсосбережение и экологическая безопасность при переработке хромитов и боратов Западного Казахстана. - Астана, 2016. – 248 с.

Получено 18.04.2018

---

УДК 621.317.08

**Н.Н. Акимбекова, Н.Р. Жолмагамбетов, Н.А. Медеубаев, А.Ж. Ахметова**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕГАЗАЦИИ ПЛАСТОВ, СОСТАВА И СВОЙСТВ УГЛЯ  
НА ЗАПЫЛЕННОСТЬ ШАХТНОГО ВОЗДУХА**

*Меры борьбы с пылью в угольных шахтах должны проводиться в следующих направлениях: предупреждение или значительное уменьшение пылеобразования, подавление пыли, взвешенной в воздухе, обезвреживание пыли в отношении опасности взрыва. Радикальным средством борьбы с пылью является введение такой технологии выемки угля, при которой пыль не возникала бы или человек был бы полностью изолирован от нее.*

*Көмір шахталарапында шаңмен күресу жөніндегі шаралар келесі бағыттар бойынша жүзеге асырылуға тиіс: шаңның пайда болуының алдын алу немесе оларды елеулі түрде азайту, аудағасы шаңды басу, жарылыс қауіптілігіне қатысты шаңды залалсыздандыру. Шаңмен күресудің радикалды құралы көмір алу кезінде шаң туындармайтындағы немесе адамдар шаңнан толықтай оқшауланатын технологияны енгізу болып табылады.*

*Dust control measures in coal mines should be carried out in the following directions: prevention or significant reduction of dust formation, suppression of dust suspended in the air, inactivation of dust with respect to the danger of explosion. A radical means against dust formation is the implementation of such a technology for the excavation of coal, in which dust would not form or a worker would be completely isolated from dust.*

Установлено, что при разрушении массива горных пород при проходке подготовительных выработок в процессе эксплуатации одного и того же комбайна и при одинаковых условиях взметывания пыли уровень пылевого загрязнения воздуха может быть различным, причем важнейшим критерием оценки является способность угля вмещающих пород к дроблению на пылевые фракции различной крупности. Это объясняется тем, что состав и свойства горных пород на разных этапах проходки могут быть неодинаковыми.

Исследования показали, что при выемке угля с малым содержанием минеральных примесей пылевыделение меньше, чем при выемке угля с большим их [1]. Одновременно эксперименты по изучению уровней запыленности воздуха на шахтах Карагандинского бассейна выявили значительные колебания этих показателей. Так, при работе комбайнов 2К-52 без использования средств обеспыливания концентрация твердых частиц в воздухе составила от 2000 до 4000  $\text{мг}/\text{м}^3$  и выше в прямой зависимости от влажности угля и вмещающих пород. Причем повышение влажности от 2 до 7% обусловливало сокращение запыленности воздуха выработки почти вдвое; степень же загрязнения атмосферы в местах геологических нарушений в 2-3 раза больше, чем в ненарушенных участках горного массива.

Установлено, что при работе пневматических молотов без проведения мероприятий по борьбе с запыленностью горных выработок концентрация твердых частиц в воздухе составляла от 14 до 115  $\text{мг}/\text{м}^3$ , но при увеличении влажности горной массы от 2,5...3% до 7...8%. Доказано, что в ходе тех же операций по отбойке угля и породы запыленность шахтной атмосферы снижается в 8,2 раза. В тех же условиях отсутствие средств для борьбы с загрязнен-

нием воздуха пылью и при отбойке горной массы при вынимаемой мощности пласта от 1,2-1,4 до 3,2-3,5 м запыленность атмосферы в забое увеличивается от 27 до 110  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

В основе пылеподавления лежит снижение пылевыделения и осаждение пыли непосредственно в местах её образования. В подземных горных выработках при работе добывчих и проходческих комбайнов пылеподавление осуществляется путём подачи воды или водных растворов ПАВ в зону разрушения угольного или породного массива для увлажнения разрушающегося массива и смачивания образующейся пыли.

Для снижения пылевыделения применяется предварительное увлажнение массива через короткие и длинные скважины. Эффективное пылеподавление достигается также использованием пены средней и высокой кратности, которая образуется с помощью пеногенераторов различных типов. При подаче пены в места разрушения массива уменьшаются доступ воздуха к очагу пылеобразования и возможность прорыва частиц пыли в атмосферу выработки. Для образования пены применяются пеногенераторы ПГ, ПГВ-В, ВП, УПН-2 и др. При бурении шпуров и скважин пылеподавление осуществляется подачей воды в забой шпура или скважины. При взрывных работах для предупреждения пылевыделения в атмосферу выработок используют внутреннюю и внешнюю водяную забойку, при которой при взрыве вода под большим давлением внедряется в массив и смачивает его. Для подавления пыли в момент взрыва применяются туманообразователи различных типов и наполненные водой полиэтиленовые мешки, подвешенные в выработке, которые взрываются одновременно со взрывом массива. Тонкодиспергированная вода при этом эффективно осаждает пыль.

На шахте Карагандинского бассейна были проведены испытания систем пылеподавления при работе проходческих комбайнов с использованием пеногенераторов [2]. Одновременно исследовались процессы загрязнения воздуха пылью в зоне работы машиниста комбайна без и с применением пылезащитных мероприятий (табл. 1).

Таблица 1

*Анализ уровней загрязненности воздуха пылью в зависимости от ее фракционного состава и при использовании эмульгированных жидкостей*

Тип пыли	Запыленность воздуха по фракциям, $\text{mg}/\text{m}^3$					
	менее 2 мкм	2...5 мкм	5...10 мкм	10...25 мкм	более 25 мкм	суммарный показатель
Угольная и породная	<u>0,118*</u> 0,023	<u>1,622</u> 0,267	<u>12,16</u> 1,51	<u>98,1</u> 13,7	<u>201,3</u> 18,7	<u>313,3</u> 34,2
Угольная	<u>0,013</u> 0,003	<u>0,240</u> 0,073	<u>1,21</u> 0,4	<u>4,9</u> 4	<u>17,3</u> 6,3	<u>23,66</u> 10,78
Породная	<u>0,105</u> 0,02	<u>1,382</u> 0,194	<u>10,95</u> 1,11	<u>93,2</u> 9,7	<u>184</u> 12,4	<u>289,64</u> 23,42

\* - в числителе – запыленность воздуха без использования защитных средств;

в знаменателе – запыленность воздуха при применении для пылеподавления эмульгированных жидкостей.

Результаты исследований показали при этом, что эффективность пылеподавления при использовании пен различного состава достигает 92% как при проходке подготовительных выработок по углю, так и по породе с высоким содержанием песков и супесей.

В шахтах с высокой метанообильностью при использовании обычных способов вентиляции не справляются с разжижением газов в выработках до предельно допустимой кон-

центрации. В этих условиях для повышения эффективности вентиляции шахт проводят дегазацию, т.е. комплекс мероприятий, уменьшающий количество поступающего в горные выработки метана.

Комплекс мероприятий по дегазации горных выработок включает в себя дегазацию выработанного пространства, в котором продолжается выделение газа из обрушенных пород, консервацию газа в массиве горных пород и замедление выделения газа из угольного пласта. Дегазация применяется во всех основных угольных бассейнах страны. Дегазация горных пород, заключающаяся в снижении их естественной газоносности, может осуществляться через скважины, пробуренные из горных выработок или с земной поверхности в пласты полезного ископаемого и вмещающих пород.

В зависимости от формы и генезиса газового скопления, величин природной газопроницаемости и газоносности пластов, интенсивности изменения природной системы уголь (порода, руда)-газ-природная влага под воздействием горных работ, характера воздействий на источник газа, сроков ведения горных работ и дегазации, от схемы бурения дегазационных (газосборных) скважин применяются: заблаговременная дегазация в пределах шахтных полей, ограждающая дегазация, предварительная дегазация, передовая дегазация, дегазация смежных угольных пластов-спутников, дегазация выработанных пространств отработанных и действующих выемочных участков, дегазация зон трещиноватых пород вблизи геологических нарушений закрытого типа и комплексная дегазация.

Предварительная дегазация разрабатываемых пластов скважинами диаметром 80-150 мм осуществляется для снижения природной газоносности пласта и давления метана в пласте до начала очистных работ в шахтном поле; уменьшает также опасность внезапных выбросов газа и угля. Дегазационные скважины бурят из пластовых или полевых выработок по восстанию, падению и простиранию пласта. Наиболее эффективны восстающие скважины, пробуренные через 10-20 м друг от друга на всю высоту этажа. Схема расположения скважин и частота бурения (расстояние между соседними скважинами) зависят от способа подготовки участка, применяемой системы разработки, интервала между окончанием бурения скважин и началом очистной выемки, величины газопроницаемости пласта и скорости подвигания лавы. Максимальная эффективность предварительной дегазации 50-60%. Для повышения газопроницаемости применяется подземный гидроразрыв и физико-химическая обработка пласта слабыми растворами кислот, способствующая растворению части составляющих пласт компонентов.

Для обеспечения безопасности ведения проходческих и очистных работ в угольных шахтах, опасных по пыли и газу, выполняется предварительная дегазация угольных пластов. С открытием новых, более глубоких горизонтов роль предварительной дегазации еще больше возрастает [1]. Для ее количественной оценки вначале были проведены наблюдения за уровнями запыленности воздуха в подготовительных и очистных забоях для тех случаев, когда при работе добычных и проходческих комбайнов обеспыливющие мероприятия не проводились (табл. 2).

Из данных табл. 2 видно, что запыленность воздуха при работе проходческого комбайна и отсутствии пылезащитных мероприятий в 1,8-2,5 раза выше на дегазированных участках. Это обусловлено тем, что при извлечении метана из угольного пласта возрастает крепость угля, уменьшается влажность угольного пласта, а последний фактор и обеспечивает рост пылеобразующей способности угольного массива.

Таблица 2

*Оценка влияния предварительной дегазации угольных пластов  
на запыленность шахтной атмосферы*

Тип пласта	Марка комбайна	Число обследованных забоев	Скорость воздушного потока, м/с	Скорость движения комбайна, м/мин.	Запыленность воздуха в выработке, мг/м <sup>3</sup>		Увеличение уровня запыленности воздуха при применении дегазации, %
					без использования дегазации	с дегазацией	
$K_4$	ПК-3М	8	0,3-1,7	-	2090	5170	248
	КШ-3М	3	2,1-3	2,3-2,5	1800	5380	300
$K_{12}$	2К-52М	10	2-2,8	1-1,1	2110	5120	243
	КШ1КГ	11	1,6-3,1	1,2-1,8	2810	4680	167
$K_{13}$	ПК-3М	4	0,6-1,8	-	2410	4480	185
	2К-52М	8	1,4-2,5	0,7-0,25	2250	5750	255
	ПК-3М	4	0,5-0,6	-	2970	5450	184

Необходимо также отметить существенное влияние на рост запыленности воздуха после предварительной дегазации угольного пласта при различных типах применяемых горнодобывающих и очистных комбайнов. Наибольшее увеличение наблюдается при применении комбайнов, обладающих высокой энергоемкостью.

#### Список литературы

1. Кирин Б.Ф. Борьба с пылевыделением в шахтах / Б.Ф. Кирин, В.П. Журавлев, Л.И. Рыжин. - Москва: Недра, 1983. – 213 с.
2. Поелуев А.П. Подавления пыли различного дисперсного состава в угольных шахтах / А.П. Поелуев, И.Г. Ишук // Сер. ТБ и горноспасательное дело. - М: ЦНИЭИуголь, 1975. – 53 с.
3. Недин В.В. Современные методы исследования пыли и эффективности противопылевой вентиляции / В.В. Недин, О.Д. Нейков. – М.: Недра, 1967. – 171 с.
4. Кашибадзе В.В. Аэродинамическое сопротивление горных выработок. - М.: Недра, 1983. -152 с.
5. Харьковский В.С. К вопросу осаждения угольной пыли в горных выработках и трубопроводах / В.С. Харьковский, Н.Н. Акимбекова // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: Матер. X междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2004. – С. 91-93.

Получено 18.04.2018

УДК 621.317.08

**Н.Н. Акимбекова, Г.К. Сапарова, М.О. Байтуганова, М.Ж. Каценова**  
Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

#### **ВЛИЯНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА СОСТОЯНИЕ ПРОВЕТРИВАНИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

*Повышение эффективности проветривания горных шахт может быть достигнуто только при правильном проектировании и оперативном управлении системам шахтной вентиляции. Проведенные исследования показали, что на аэрогазовое состояние, пожаро- и взрывобезопасность выемочных участков угольных шахт, состояние рудничной вентиляции оказывают влияние не только аэродинамические параметры выработанных пространств, но и горных выработок.*

*Тау шахтадарының желдему тиімділігін арттыру тек шахтадардың желдему жүйелерін дұрыс жабалаудың және басқарумен гана қол жеткізіледі. Жүргізілген зерттеулер көмір шахтадарының қазба участкерінің ерт және жарылыш қауіпсіздігіне, шахтадардың желдему жай-куйіне*

өндөлгөн кеңістіктердің аэродинамикалық параметрлері ғана емес, сондай-ақ көн қазбасы да әсерін тигізді.

*Increasing the efficiency of ventilation of mines can be achieved only with the correct design and operational management of mine ventilation systems. The carried out researches have shown that the air-gas state, fire-explosion safety of excavating sites of coal mines, the state of mine ventilation are affected not only by the aerodynamic parameters of the developed spaces, but also by mining excavations.*

Вентиляция, эффективное проветривание имеют первостепенное значение в деле обеспечения безопасности промышленных предприятий. Наибольшее влияние на безопасность технологических процессов, условий труда оказывают режимы проветривания в горной и особенно угольной промышленности. Горная промышленность является одной из ведущих отраслей индустрии страны. Интенсификация процессов производства связана с внедрением высокопроизводительных технологических комплексов, автоматизации производственных процессов. Повышение нагрузки на очистной забой до 15-25 тыс. т в сутки будет сопровождаться повышенными выделениями взрывоопасных газов и пыли. Поэтому, наряду с развитием технологии добычи полезных ископаемых, необходимо разрабатывать методы улучшения микроклиматических условий труда горнорабочих. Решение этой задачи требует повышения надежности обоснования расчетных схем и параметров проветривания выемочных участков, которые обуславливают создание безопасных условий труда шахтеров. Для нормального проветривания шахт необходимо не только подавать определенное количество воздуха, но и регулировать его поступление на отдельные участки, в зависимости от нагрузки на лаву. То есть повышение эффективности проветривания может быть достигнуто только при правильном проектировании и оперативном управлении системами шахтной вентиляции.

Наибольшее значение для обеспечения промышленной безопасности имеет вентиляция в горной промышленности, так как здесь надежность работы систем вентиляции напрямую связана с опасностью взрывов и воспламенений газо- и пылевоздушных смесей. В деле обеспечения безопасных концентраций горючих, взрывчатых и токсичных газов эффективное проветривание стоит на первом месте. В угольных шахтах наибольшую опасность представляет неустойчивость режимов проветривания выемочных участков, в особенности при наличии диагональных соединений. Любые отклонения от расчетных значений расходов воздуха в участковых выработках, в особенности очистных и поддерживаемых в выработанных пространствах, может привести к серьезному нарушению пунктов правил безопасности в угольных шахтах, принятых в Республике Казахстан.

Вентиляционный баланс выемочного участка при возвратноточной схеме проветривания складывается из количества воздуха, необходимого для проветривания очистной выработки  $Q_{ov}$  и утечек воздуха через выработанное пространство  $Q_{ym}$  (рис. 1).

Сумма этих двух величин дает общее количество воздуха, подаваемого в лаву  $Q_l$ . При прямоточной схеме проветривания к этой величине добавляется количество воздуха, необходимого для подсвежения  $Q_n$ .

Определяющая роль в создании опасной аэрогазовой ситуации принадлежит утечкам воздуха через зоны обрушения. Дифференцирование величин утечек воздуха по длине очистной или поддерживаемой выработок дают величины удельного оттока  $q_y(y)$  или притока воздуха  $q_x(x)$  в выработки, характеризуя тем самым процессы бокового массопереноса через стенки выработок.

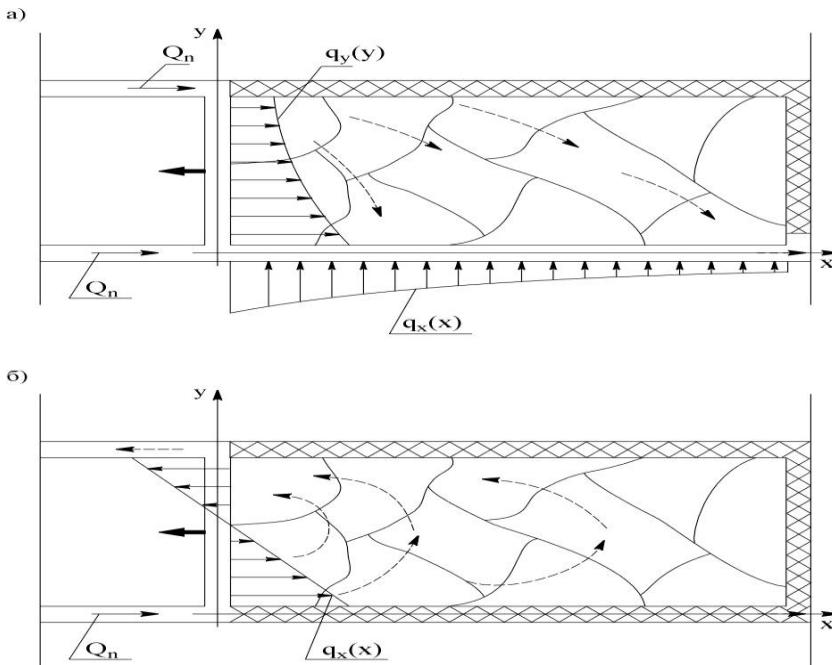


Рисунок 1 - Схема массопереноса через стенки выработок выемочного участка:  
а – прямоточная схема проветривания; б – возвратноточная схема проветривания

Необходимо отметить, что утечки воздуха играют определяющую роль в формировании газового баланса выемочного участка. При увеличении утечек и уменьшении количества воздуха, участвующего в проветривании призабойной части лавы, происходит загазование очистной выработки. При прямоточной схеме проветривания расход воздуха на выходе из лавы составляет от 40% до 80% воздуха, подаваемого в лаву, то есть утечки воздуха через выработанное пространство могут достигать 60%.

Любые колебания  $Q_{ym}$  величины утечек приводят к резкому изменению аэрогазовой ситуации на выемочном участке. Результаты натурных исследований, проведенных на шахтах Караганды, позволили обобщить данные по распределению по длине очистной выработки количества проходящего воздуха и утечек, концентрации и дебиту метана при отработке лав. При утечках воздуха через выработанное пространство возможны поступления метана из отработанного в призабойное пространство. Для устранения утечек требуется в поддерживаемой выработке не ближе 15 и не далее 30 м от линии очистного забоя устанавливать аэродинамические сопротивления, что позволяет снизить утечки до 60%. При этом обеспечивается вынос метана из призабойного пространства за пределы рабочей зоны действующих выработок. При утечках 60-80% необходимо проводить сбойки между выработками. При утечках воздуха более 80% в призабойном пространстве на выходе из очистной выработки на расстоянии 8-10 м от сопряжения с воздухоподающей выработкой образуется слабопроветриваемая зона, что приводит к повышению концентрации метана до 2% и более.

Необходимо отметить, что утечки воздуха через выработанное пространство тем выше, чем больше участковая депрессия. При возвратноточной схеме проветривания лавы величина участковых утечек может быть найдена по формуле [1]:

$$Q_{ym} = \frac{3,664hm}{\pi^2 r_y}, \quad (1)$$

где  $h$  – величина депрессии, под влиянием которой находится выработанное пространство, Па;  $m$  - вынимаемая мощность пласта, м;  $r_y$  - удельное аэродинамическое сопротивление выработанного пространства, Па·с/м<sup>2</sup>.

Распределение воздуха на участке, соотношение количества воздуха, поступающего на участок, и объемов утечек воздуха, участковая депрессия  $h$  зависят от аэродинамического сопротивления всех ветвей, образующих расчетную вентиляционную схему участка. В особенности это актуально для прямоточной схемы проветривания лавы. При проектировании вентиляции, ведении прогнозных расчетов определение величины  $h$  требует уточнения значений аэродинамических параметров горных выработок, а также решения задачи распределения воздуха в общешахтной вентиляционной сети.

Утечки воздуха через выработанное пространство определяются не только аэродинамическим сопротивлением обрушенного массива горных пород, но и аэродинамическим сопротивлением оконтуривающих этот массив выработок, что было доказано теоретическими исследованиями:

$$Q_{ym} = \frac{16H_o}{\pi^2 r_y} \left[ \frac{L_{oq}\alpha_{oq}\Pi_n Q_n^2}{S_{oq}^3} + \frac{htD\Pi_e\alpha_e L_{oq}}{4S_e^3 L_n} (Q_n + Q_e)^2 \right], \quad (2)$$

где  $H_o$  - высота слоя обрушенной породы, в котором происходит фильтрация воздуха, м;  $L_{oq}$  - длина очистной выработки, м;  $L_n$  - длина отработанной части выемочного участка, м;  $\alpha_{oq}, \alpha_e$  - соответственно коэффициенты аэродинамического сопротивления очистной и вентиляционной выработок, Па·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  $\Pi_n, \Pi_e$  - соответственно периметры поперечного сечения лавы и вентиляционной выработки, м;  $Q_n$  – количество воздуха, подаваемого для подсвежения струи, м<sup>3</sup>/с;  $S_{oq}, S_e$  - соответственно площади поперечного сечения очистной и вентиляционной выработок, м<sup>2</sup>.

Формула (2) показывает, что на увеличение утечек оказывают влияние различные факторы, однако среди них наиболее сильное воздействие оказывают аэродинамические параметры горных выработок. Это доказано исследованиями, проведенными на шахтах Карагандинского бассейна, где отмечены случаи резкого (от 10 до 40 раз) увеличения аэродинамического сопротивления выработок, оконтуривающих выработанное пространство, сопровождаемое перераспределением воздушных потоков в сторону увеличения утечек воздуха через обрушенный массив вмещающих пород. Из контурных выработок на аэрогазодинамическое состояние выемочного участка наиболее существенное влияние оказывает поддерживаемая вентиляционная выработка [2]. Находясь в зоне обрушения пород, она подвергается воздействию сильного горного давления, которое приводит к деформации крепи и к резкому уменьшению площади поперечного сечения выработки, в первую очередь в зоне первичной посадки.

Из-за этого на некоторых участках отмечались случаи образования в 10-30 м от сопряжения очистной и поддерживаемой вентиляционных выработок застойных зон с повышенным содержанием метана. Длина загазованного участка достигала 12-14 м [3]. При этом опасная по метану зона в лаве возникает только в тех случаях, когда выработанное пространство обладает высокой воздухопроницаемостью. При этом линии токов в очистном забое сильно отклоняются в сторону выработанного пространства. Вследствие резкого уменьшения скорости движения воздуха в призабойной части лавы не происходит достаточно эффективного разбавления метана, выделяющегося из пласта и отбитого угля,

до безопасной концентрации. Полученные результаты, однако, не позволяют прогнозировать состояние вентиляции и аэrogазовую ситуацию в выработках выемочных участков при прямоточной схеме проветривания, так как не дают ответа на вопрос, как влияют аэродинамические характеристики выработок, оконтуривающих выемочный участок, на разворот главного вектора направления движения метановоздушной смеси в выработанном пространстве.

Необходимо отметить, что резкие увеличения аэродинамического сопротивления поддерживаемых выработок не могут быть объяснены только лишь деформациями их стенок и снижением площади сечения. Аэродинамические исследования, проведенные в шахтных условиях, и статистическая обработка полученных результатов показали, что непрогнозируемые увеличения депрессий в участковой сети могут происходить из-за возрастания степени турбулентности движущегося потока при фильтрации воздуха через стенки поддерживаемых выработок. Это косвенным образом подтверждается уравнениями зависимости коэффициентов аэродинамических сопротивлений горных выработок при движении в них воздуха с изменением расхода вдоль пути [4].

Таким образом установили, что на аэrogазовое состояние, пожаровзрывобезопасность выемочных участков угольных шахт, состояние рудничной вентиляции оказывают влияние не только аэродинамические параметры выработанных пространств, но и горных выработок. Любые неконтролируемые их изменения могут привести к нарушениям режимов проветривания, что может повлечь за собой возникновение опасных ситуаций в рабочих зонах шахт и рудников.

#### Список литературы

1. Приймак В.Г. Турбулентные режимы течений в каналах и трубах / В.Г. Приймак, Б.П. Рождественский, И.Н. Симакин // Проблемы турбулентных течений: Сб. тр. / Под ред. Струминского В.В. – М.: Наука, 1987. – С. 57-64.
2. Дрижд И.Н. Отработка пожароопасного пласта с применением прямоточной схемы проветривания / И.Н. Дрижд, Ш.Ж. Машрапов, Я.Д. Витебский // Безопасность труда в промышленности, 1991. – № 4. - С. 33-34.
3. Акимбеков А.К. Специальные способы борьбы с метановыделением в горные выработки. - Рук. деп. в КазгосИНТИ. - № 6214 - Ка95. - 1995. -103 с.
4. Калиев С.Г. Аэродинамика очистных забоев при прямоточной схеме проветривания / С.Г. Калиев, А.К. Акимбеков, С.Д. Ревенцов // Управление газовыделением в угольных шахтах: Межвуз. сб. науч. тр. - Кемерово, 1990. - С. 80-84.
5. Глузберг Е.И. Комплексная профилактика газовой и пожарной опасности в угольных шахтах / Е.И. Глузберг, Н.Ф. Гращенков, В.С. Шалаев. - М.: Недра, 1988. - 133 с.
6. Акимбеков А.К. Исследование и анализ коэффициентов аэродинамического сопротивления поддерживаемых выработок / А.К. Акимбеков, Н.Н. Акимбекова // Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан -2030»: Тр. науч. конф. – Вып. 2. – Караганда, 2002. – С. 165-167.

Получено 18.04.2018

---

---

УДК 553(574)

**Г.И. Рудько**

Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Украина

**А.В. Мятченко**

Геолого-экономическая консалтинговая компания, г. Караганда

**В.С. Портнов, Ф.М. Исатаева**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЗАХСТАНА**

*В статье акцент сделан на роли горно-металлургической промышленности в реализации первого этапа индустриализации страны в 2010-2014 годах. Повышение инвестиционной привлекательности горно-металлургической промышленности связано с предстоящим внедрением в Казахстане международной системы стандартов отчетности по запасам полезных ископаемых CRIRSCO. В этой связи внимание сконцентрировано на поиске путей совершенствования геолого-экономической оценки месторождений, необходимости роста её научной обоснованности.*

*Бұл мақала Қазақстан Республикасының тау-кен металлургия өнеркәсібіндегі өзекті мәселелерге арналған. Елді индустрияланырудың 2010-2014 жылдарда арналған бірінші кезеңін жүзеге асырудағы тау-кен металлургия саласының рөліне ерекше назар аударылды. Тау-кен металлургия өнеркәсібінің инвестициялық тартымдылығының артуы Қазақстандағы пайдалы қазбалар қорларына арналған CRIRSCO халықаралық есеп беру стандартының енгізілуіне байланысты. Осыған орай депозиттерді геологиялық-экономикалық бағалауды жетілдіру жолдарын іздейстіруге, оның вылыми негіздемесінің өсу қажеттілігіне назар аударылады.*

*This article is devoted to topical problems in the mining and metallurgical industry of the Republic of Kazakhstan. The emphasis is on the role of the mining and metallurgical industry in the implementation of the first stage of industrialization of the country in 2010-2014. The increase in the investment attractiveness of the mining and metallurgical industry is due to the forthcoming introduction of the CRIRSCO international system of reporting standards for mineral reserves in Kazakhstan. In this regard, attention is focused on finding ways to improve the geological and economic evaluation of deposits, the need for growth of its scientific validity.*

**Ключевые слова:** Казахстан, индустриализация, инвестиции, горно-металлургическая промышленность, международные стандарты CRIRSCO, геолого-экономическая оценка, месторождение.

На первом этапе индустриализации Казахстана в 2010-2014 годах для достижения сбалансированного роста, повышения конкурентоспособности экономики через диверсификацию и преодоления «синдрома сырьевого экспортёра» реализован первый с постсоветских времен план промышленного развития [1]. Для совершенствования государственного управления экономикой и улучшения инвестиционного климата инициативы прозрачности в добывающих секторах, корректировка антимонопольной и антикоррупционной базы, создание макроэкономических и политических условий, обеспечивающих свободное развитие рыночных сил, достижение гармонии с социально-экономической и институциональной средой стали приоритетными действиями правительства.

Для достижения высокого уровня экономического развития богатых природными ресурсами стран, к числу которых относится и Казахстан, требуется интенсификация их добычи и переработки в готовую продукцию. От качественных характеристик исходного рудного сырья во многом зависят экономические показатели обогатительного производства. Во внимание принимаются технологические показатели обогащения, стабильность вещественного и минерального состава руд, влияющая на потери различных металлов в

хвостах обогащения. К примеру, при обогащении полиметаллических руд в хвосты уходит меди и серебра до 25%, барита и золота до 45% [2].

В свете сказанного для решения проблемы роста качества рудоминерального сырья цветной металлургии необходимо совершенствовать систему управления качеством на основе геолого-технологической типизации руд. И здесь неоценимую роль окажут не только геологические и геофизические исследования, но и обстоятельная, достоверная геолого-экономическая оценка различных месторождений.

Цель работы - поиск путей совершенствования геолого-экономической оценки колчеданно-медно-свинцово-цинкового месторождения Кусмурин, которое является объектом поискового исследования в рамках государственного задания по изучению перспективных площадей для привлечения инвестиций. При привлечении инвестиций использован системный подход, методы экономического, структурно-функционального и логического анализа. Информационной базой исследования послужили монографические разработки ученых, данные Агентства Республики Казахстан по статистике, программные документы Республики Казахстан.

Месторождение является структурным подразделением ТОО «Корпорации «Казахмыс» - одного из трех крупнейших производителей меди в Казахстане. В структуре компании находятся 10 рудников, пять обогатительных фабрик, два медеплавильных завода, два угольных разреза. В 2016 г. компанией было произведено 225,66 тыс. тонн меди в катодном эквиваленте, на 2017 г. было запланировано произвести на 6,94 тыс. тонн меди больше.

Благодаря сформировавшейся в Казахстане модели импортированного экономического роста, нацеленной на трансформацию высоких нефтегазовых доходов во внутренние потребности страны, была достигнута макроэкономическая устойчивость. Успех страны объясняется опорой на собственные внутренние силы, главным образом мощные природные ресурсы, накопленный опыт, учитывающий своеобразие условий хозяйствования и исторические традиции, отработку механизмов защиты национальных интересов. Но модель была неустойчивой и стимулировала рост импорта. Так и не найден ресурс, равный по своим возможностям тому, который использовала сырьевая модель роста. Отойти от сырьевой зависимости и диверсифицировать крупнейшую экономику Центральной Азии - основное направление развития экономики. Экономика страны движется к переходу от поставщика на мировые рынки сырья и товаров с невысокой долей добавленной стоимости к экономике, обеспечивающей защиту национальных интересов (см. табл.).

С развитием нефтегазохимии государство связывает решение двух основных задач: обеспечение эффективного использования углеводородного сырья - попутного нефтяного и сухого газа, что позволит сократить непродуктивные экономические издержки, в том числе экологического характера; обеспечение дешевым сырьем химической промышленности, производства строительных материалов и резинотехнических изделий.

Поскольку в 2010-2014 гг. государственная поддержка была направлена в первую очередь на поддержку конкурентоспособных, экспорт ориентированных предприятий, не отличающихся активной деятельностью на внутреннем рынке, то в ближайшие годы она должна ориентироваться на импортозамещение, причем рассматривать его необходимо с точки зрения потенциальных возможностей для инвестиций по созданию новых производств в Казахстане. Конкурентоспособные производства, ориентированные как на экспорт, так и на внутренний рынок, будут иметь поддержку. Одновременно с поддержкой производства, востребованного внутри Казахстана, перехода на выпуск всей номенклату-

ры товаров, работ и услуг, необходимых для удовлетворения потребности внутреннего рынка при достойном паритете цены и качества, будет развиваться кооперация внутри страны, предприятия активизируют позиционирование своей продукции на рынке.

#### *Показатели экономики Казахстана*

№ п/п	Показатель	Годы						
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	<i>Объем производства, млрд тенге</i>							
	- обрабатывающая промышленность	3844,7	4801,4	5446,7	5852,6	6092,2	5971,9	7705,5
	- добыча сырой нефти и природного газа	6195,4	8572,8	8720,7	9036,5	9164,1	5880,2	7336,0
2	<i>Индекс физического объема, %</i>							
	- обрабатывающая промышленность	113,9	107,7	101,2	101,9	101,1	100,2	100,7
	- добыча сырой нефти и природного газа	105,8	100,6	99,0	103,3	98,9	98,4	98,3
3	Вклад добывающих предприятий в формирование доходов консолидированного бюджета страны, %	70,0	77,0	79,0	73,0	66,0	35,0	21,0
4	<i>Годовой рост кредитования промышленности, %</i>							
	- обрабатывающей	105,5	109,5	113,9	106,8	108,2	109,4	121,9
	- горнодобывающей	109,4	107,5	122,9	106,3	96,6	152,8	75,4

Примечание - Рассчитано по источникам: приложение к статистическому бюллетеню «Показатели Государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015-2019 годы», январь-декабрь 2016 г., комитет по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан, Астана, 2017; приложение к статистическому бюллетеню «Показатели Государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015-2019 годы», январь-март 2017 г., комитет по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан, Астана, 2017.

Национальная палата предпринимателей планирует разработать концепцию программы импортозамещения в Казахстане, которая будет увязана с картой развития предпринимательства в регионах. Это позволит снизить долю импорта в отраслях обрабатывающей промышленности, увеличить долю местного содержания в закупках государственных и квазигосударственных организаций и недропользователей, развивать новые производства.

В долгосрочном периоде Казахстан запланировал создать вертикально интегрированные производства. Благодаря высокотехнологичным производствам, их структурные формирования смогут сочетать различные по сложности мероприятия: от добычи и очистки до переработки требуемого объема углеводородного сырья, включая попутные газы. В данном случае возможно производство конкурентоспособной продукции нефтехимии по всей цепочке добавленных стоимостей и расширение рынка нефтехимической продукции. Одновременно представится возможность повысить научную обоснованность оценки месторождений, быстрее приспособиться к изменениям мировых цен на углеводородное сырье.

До 2020 г. усовершенствуются правила закупок, будет выработан комплекс мер по созданию смежных производств вокруг крупных градообразующих предприятий. Государство планирует оказывать местным производителям поддержку, но при условии, что бизнес будет модернизировать собственное производство и выпускать современную высоко-

ликвидную продукцию, пользующуюся спросом не только на внутреннем, но и на внешнем рынке.

С целью расширения рынка сбыта казахстанской продукции все проекты, включенные в республиканскую карту индустриализации, планируется реализовать за счет средств республиканского бюджета с обязательным использованием местных товаров, работ и услуг [3, 4]. Одним из инструментов государственной поддержки является обязанность государственных органов проводить закуп определенных товаров только среди отечественных производителей. Этим предприятиям будет возмещена часть затрат при внедрении систем менеджмента качества в соответствии с мировыми стандартами, национальным компаниям будет предоставлен гарантированный заказ [5].

К действующим инструментам поддержки местных производителей относится *преференциальный режим*, по которому условные скидки доходят до 20%. Производится закуп товаров из одного источника для недропользователей горнорудного сектора, если доля местного содержания в таком товаре составляет не менее половины, а для недропользователей нефтегазового сектора – не менее 65%. Предоставляется возможность заключения долгосрочных договоров сроком до 10 лет, увеличение срока поставки товара. Эти меры поддержки предусмотрены по закупкам национальных компаний и государственным закупкам [6].

Программы формирования и совершенствования минерально-сырьевой базы Казахстана, основанной на всестороннем исследовании геологических и геофизических источников предыдущих периодов, принимающей во внимание динамичную конъюнктуру мирового рынка, изменения в экономике Казахстана, сейчас нет. Нужна детальная программа, характеризующая минерально-сырьевую базу, основывающаяся на анализе материалов реальных участков и минералогических зон, имеющих предпосылки к выявлению месторождений [7, 8].

Ситуация осложняется изменением требований мирового рынка, которые за последние годы претерпели корректизы. Благодаря новым технологиям, руды, которые когда-то считались некондиционными, экономически нецелесообразными, в текущий момент могут рассматриваться как вполне конкурентоспособные, с учетом того, какие объемы добычи будут получены и каким способом их будут извлекать. Для получения высокого конечного результата обязательно нужна переоценка старых запасов, выяснение того, какие объекты целесообразно в дальнейшем отрабатывать. В исследованиях советского периода максимальная основная часть площадей достигала 400 м. В текущий момент новые технологии разведки и геофизическое оборудование дают возможность бурить до 2 км, значительно расширяя возможности для поиска новых месторождений.

В связи с усилением производственной зависимости экономики Казахстана от импорта и вынужденным импортозамещением актуальной проблемой промышленности является вовлеченность в международное разделение труда. Осуществляемые сегодня реформы в сфере недропользования направлены на повышение конкурентоспособности и улучшение условий для деятельности компаний и инвесторов в Казахстане. В рамках индустриально-инновационной программы Казахстана в горно-металлургическую промышленность планируется привлечь известные транснациональные компании и развивать казахстанские бренды [6]. Запланирован рост доли казахстанского титана в мировом сегменте с 11 до 14%.

Министерством по инвестициям и развитию Республики Казахстан ведется активная работа по привлечению в экономику страны иностранных инвесторов, в том числе транснациональных компаний. Так, из реализуемых в 2017 г. 34 проектов с объемом финансирования 13 млрд долларов по 12 проектам начато строительство, по 20 проектам разработана документация и по 2 проектам ведутся геологоразведочные работы. Наибольший рост валового притока прямых иностранных инвестиций наблюдается в горнодобывающей промышленности – в 2,2 раза.

К приоритетным отраслям с действующим потенциалом, в которые наиболее выгодно привлекать новые инвестиции, относятся глубокая переработка нефти, газа и полезных ископаемых (металлургия, химия и нефтехимия), машиностроение. К 2022 г. планируются целевые индикаторы: увеличение валового притока прямых иностранных инвестиций в 1,26 раза; увеличение соотношения объема валового притока иностранных инвестиций к ВВП до 19%; увеличение прямых иностранных инвестиций, ориентированных на повышение эффективности в обрабатывающую промышленность в 1,5 раза; увеличение объема внешних инвестиций в основной капитал несырьевого сектора экономики в 1,5 раза.

Следует учитывать, что высокие инвестиционные риски, сопровождающие проекты разведки и разработки месторождений, ужесточают требования инвесторов к подлинности предоставляемых сведений о конкретных ресурсах и обнаруженных запасах. Так, биржи и банки оказывают доверие горнодобывающим и геологоразведочным предприятиям лишь в случае соответствия их деятельности и представленных отчетных данных международным стандартам.

В свете сказанного одним из первостепенных условий роста инвестиционной привлекательности горнодобывающей промышленности Казахстана и минерально-сырьевого комплекса становится переход на международную систему стандартов отчетности по запасам полезных ископаемых CRIRSCO. В соответствии с этой системой определяются геологические и технические сведения по разрабатываемым проектам, которые предприятия должны показывать общественности. Только такой подход может гарантировать инвесторам уверенность в том, что предоставляемые им сведения максимально достоверны и правдивы.

Принципиального отличия требований CRIRSCO и Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых Республики Казахстан не наблюдается. Более того, система CRIRSCO, где запасы и ресурсы оценивает компетентное лицо, выглядит более упрощенной. Согласно требованиям государственной комиссии по запасам полезных ископаемых Республики Казахстан запасы делились на прогнозные Р1, Р2, Р3, промышленной категории С1, С2, А+В. В системе CRIRSCO градация по запасам такова: подтвержденные, извлекаемые, экономически целесообразные. Общим требованием является достоверность по всей информации и по запасам, в частности. Запасы минерального сырья не являются неиссякаемыми, что требует строгого учета и контроля за их рациональным использованием. Партнерам и иностранным компаниям, работающим в недропользовании Республики Казахстан, для выхода на фондовый рынок, регистрации и размещения акций принципиально, чтобы все это было именно по системе CRIRSCO. Поскольку фондовыми биржами принимаются запасы, посчитанные по данной системе.

На 2018 г. запланированы переход на международную систему отчетности по запасам углеводородного сырья SPE-PRMS, обучение казахстанских специалистов аудированию геологической отчетности по ресурсам и запасам полезных ископаемых в соответствии с международными стандартами. Эти шаги нацелены на соблюдение паритета в интересах государства и недропользователей. В горнорудной отрасли планируется переход на упрощенный метод предоставления права недропользования по модели Западной Австралии, где применяется принцип «Первый пришел - первый получил».

С учетом того, что важным условием для внедрения стандартов публичной отчетности является законодательная поддержка, совместно с международными консультантами от Всемирного банка, ЕБРР, ОЭСР в Казахстане разрабатывается новый кодекс «О недрах и недропользовании», в котором будет конкретизирован переход на международные стандарты. Ожидается, что он будет регулировать все отношения в сфере геологического изу-

чения недр и недропользования с учетом имеющегося отечественного и передового зарубежного опыта. Ставка делается на то, что в результате его принятия и внедрения новых стандартов значительно увеличится количество недропользователей в горнодобывающем секторе, возрастут объемы инвестиций, появятся новые рабочие места, активизируются разведка и добыча твердых полезных ископаемых. С внедрением международных стандартов претерпит изменение экономическая оценка месторождений полезных ископаемых, определяющая экономическую значимость и целесообразность их освоения как источника конкретного вида минерального сырья для удовлетворения потребностей в нем промышленности. На её основе устанавливают кондиции на минеральное сырье, подсчитывают балансовые запасы месторождения, определяют последовательность вовлечения в разработку отдельных его частей и направления дальнейших геологоразведочных работ. Результаты экономической оценки используют для нормирования потерь полезного ископаемого при разработке и определении величины экономических санкций за их превышение.

Для экономического оценивания месторождений используют показатели. Например, производительность труда работающих на национальном и отраслевом уровнях; сравнительная себестоимость добычи различными приемами с учетом содержания полезных ископаемых и расходов на рекультивацию земель; стоимость продукции сельского хозяйства, которую можно было бы вырастить на площади горного отвода; транспортные расходы, связанные с доставкой сырья конкретному потребителю; степень загруженности важнейшего оборудования, задействованного в обогащении и извлечении полезных компонентов; ежегодный объем прибыли и другие показатели. Использование таких оценочных показателей повышает не только научную доказательность экономического оценивания месторождений полезных ископаемых, но и способствует принятию оптимальных решений по их дальнейшей эксплуатации, дает возможность увязать воедино проблемы удовлетворения потребности общества в конкретных природных ресурсах и экологические требования.

В основу геолого-экономической оценки месторождений, охватывающей все стадии геологоразведочного процесса, положены единые принципы. Это прежде всего по возможности наилучшее применение уже разведенных запасов полезных ископаемых; достижение доходности добычи и переработки минерального сырья (не ниже нормативов для данной отрасли); самоокупаемость добычи и переработки по каждой единице балансовых запасов; всесторонний учет и наиболее полное отражение национальных потребностей. Ключевым принципом по праву считается принцип наиболее полного вовлечения в национальное хозяйство уже разведенных запасов.

При проведении геолого-экономической оценки исходить следует из принятой в Казахстане единой методики технико-экономического обоснования временных кондиций. Она рассматривается как повариантное исследование месторождения для обоснования рациональных способов и систем его разработки, выбора наиболее эффективной технологии переработки сырья.

Технико-экономическое обоснование постоянных кондиций разрабатывается по материалам завершенных геологоразведочных работ с целью установления масштабов и промышленной ценности месторождения для определения целесообразности и экономической эффективности его промышленного освоения, принятия решения о финансировании инвестиционного проекта на освоение. Все сметно-финансовые расчеты по принятому

варианту промышленного освоения месторождения выполняются в рамках реально допустимых значений всех модифицирующих факторов - технических, оперативно-производственных и экономических, от которых зависит жизнеспособность проекта и целесообразность инвестирования дальнейших геологоразведочных работ. Количество принимаемых в расчет факторов должно быть достаточным для установления промышленных запасов. В завершении проводится финансовый анализ месторождения, дается общая достоверность исследования, оценивается точность расчета совокупных затрат на освоение месторождения.

Важным моментом проведения экономической оценки является определение наиболее целесообразного варианта отработки месторождения с учетом принципа достижения наибольшего экономического эффекта, затрагивающего интересы государства и инвесторов. При экономическом оценивании месторождения рассчитываются доходы и расходы от его эксплуатации; чистый доход инвесторов с учетом уплаты всех обязательных платежей; показатели, отражающие экономическую эффективность инвестиционного проекта по конкретному месторождению. Помимо этого, должен быть проведен анализ структуры денежных потоков, учитывающий временной фактор.

Вышесказанное подтверждает насущность вопроса совершенствования экономического оценивания месторождения, одним из настоятельных требований к которому является отстаивание национальных интересов. Необходим анализ как текущей потребности в продукции, так и наращивание потребности в ней в обозримом будущем. Отдельно стоит вопрос о поиске источников покрытия этой потребности, принимая во внимание наличие в Казахстане действующих предприятий, строящихся объектов, их выход на проектную мощность и экспортно-импортные операции. Важнейший вопрос - это возможности страны в наиболее полном использовании минерального сырья, максимальное получение полезных компонентов с учетом того, что извлечение их экономически оправдано.

Не теряют актуальности вопросы охраны окружающей среды, наиболее полного учета нормативной базы по охране природы. С учетом реализации в Казахстане государственной программы инфраструктурного развития «Нұрлы жол» вызывает интерес учет инвестиций в производственную и социальную инфраструктуру, строительство новых транспортных магистралей.

Подводя итог, отметим, что в среднесрочном периоде в рамках третьей модернизации в Республике Казахстан горно-металлургический комплекс будет по-прежнему иметь стратегическую значимость для достижения подъема экономики. Запланирован выход на ранее неизвестные рынки с последующим географическим расширением поставок [9]. Отраслевое совершенствование будет основано на наращивании минерально-сырьевой базы, углублении комплексной переработки сырья, повышении достоверности геолого-экономической оценки месторождений.

#### Список литература

1. Государственная программа форсированного индустриально-инновационного развития на 2010-2014 гг. Утверждена Указом Президента РК от 19 марта 2010 года № 958.
2. Комплексный план по развитию горно-металлургической промышленности РК на 2014-2018 годы. Утвержден постановлением Правительства Республики Казахстан от 28 мая 2014 года № 568.
3. Постановление Правительства Республики Казахстан от 9 августа 2012 г. № 1038 «Об утверждении Правил проведения экспертизы по местному содержанию».
4. Постановление Правительства Республики Казахстан от 17 мая 2012 г. № 636 «Об утверждении Правил формирования и ведения базы данных товаров, работ, услуг и их поставщиков».

5. Постановление Правительства Республики Казахстан от 29 декабря 2007 г. № 1353 «Об определении мер государственной поддержки категорий отечественных потенциальных поставщиков».
6. Закон Республики Казахстан от 4 декабря 2015 г. №434-V «О государственных закупках» (с изменениями по состоянию на 28.04.2016 г.).
7. Каждан А.Б. Разведки месторождений полезных ископаемых. - М.: Недра, 1977. - 327 с.
8. Шумилин М.В. Бизнес в ресурсодобывающих отраслях / М.В. Шумилин, В.А. Алискеров, М.Н. Денисов. - М.: Недра, 2001. - 268 с.
9. Прогноз социально-экономического развития Республики Казахстан на 2017-2021 гг. Одобрен на заседании Правительства Республики Казахстан (протокол № 29 от 31 августа 2016 года).

Получено 18.04.2018

---

УДК 669.2/.8

### **А.К. Серикбаева, А.К. Самешова**

Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова,  
г. Актау

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ СВИНЦОВЫЙ ШЛАМ–СЕРА**

*В статье даны результаты термических и рентгенофазовых исследований фазовых превращений в системе свинцовый шлам–серы. Все пробы, состоящие из шлама и серы, подверглись плавлению в одних и тех же пределах температур (760-780 °C). Механизм этих термических переходов един, поскольку едина сама динамика поглощения тепла при плавлении. Об этом свидетельствует однотипность DTA-пиков указанных процессов. Единственным структурно-оформленным минералом в продуктах обжига, давшими всеми тремя образцами вышеописанные проявления, является англезит.*

*Мақалада қорғасындың қойыртпақ–куқірт жүйесіндегі фазалық айналымдардың термиялық және рентгенодіфазалық зерттеу нәтижелері көлтірілген. Қойыртпақтан және құқірттен тұратын барлық сынамалар 760-780 °C температурада балқыды. Термиялық айналымдардың механизмі бірдей, себебі балқу кезіндегі жылуудың жұтылу динамикасы да бірдей. Оны көрсетілген DTA-шындардың біртаптілігі дәлелдейді. Барлық зерттелген сынамаларда жалғыз құрылымды қалыптасқан күйдіру өнімі - англезит минералы.*

*The results of thermal and X-ray phase studies of phase transformation in the "lead sludge-sulfur" system are given in the article. All samples consisting of sludge and sulfur were melted in the same temperature range (760-780 °C). The mechanism of these thermal transitions is unified, since the dynamics of heat absorption during melting is the same. This is evidenced by the uniformity of the DTA peaks of these processes, the only structurally-designed mineral in the roasting products, which gave all the three samples described above, is anglesite.*

**Ключевые слова:** свинцовый шлам, сера, сульфидообразование, термогравиметрия, рентгенофазовый анализ.

Свинцовый шлам является редметсодержащим сырьем медного производства [1]. Анализ способов переработки свинцовых шламов показывает, что к настоящему времени предложены многочисленные способы его переработки [2-7].

С целью перевода соединений осмия и рения в устойчивую форму ранее нами было проведено низкотемпературное сульфицирующее спекание шлама в присутствии сульфата натрия и углеродсодержащего восстановителя при 850 °C с последующим двухстадийным выщелачиванием: водой и солянокислым раствором хлорида натрия [8]. Этот способ применялся для свинцовых шламов, вследствие чего получено 100-кратно обогащенный осмием и рением концентрат. Используя ранее примененный для свинцовых шламов под-

ход сульфидирования, в настоящей работе рассматривается возможность применения серы нефтепромышленности для сульфидизации свинцовых шламов. В данной статье изучены фазовые превращения, протекающие в системе свинцовый шлам–сера.

Термический анализ выполнялся на дериватографе Q-1000/D. Съемка осуществлялась без доступа воздуха закупориванием тиглей с анализируемыми образцами оксидом алюминия в диапазоне температур 20–1000 °C, режим нагрева – динамический ( $dT/dt = 10 \frac{\text{град}}{\text{мин}}$ ), эталонное вещество – прокаленный  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , навеска образца – 500 мг. Чувствительность измерительных систем прибора для всех проб устанавливалась одинаковой: DTA = 250  $\mu\text{V}$ , DTG = 500  $\mu\text{V}$ , T = 500  $\mu\text{V}$ .

Расшифровка диаграмм термического анализа, минералогическая интерпретация их кривых и объяснение термического поведения изученных модельных систем осуществлялось с использованием литературных источников [9–11].

Рентгенодифрактометрический анализ проведен на автоматизированном дифрактометре ДРОН-4 с  $Cu_{K\alpha}$ -излучением и  $\beta$ -фильтром. Обожженные образцы после термического анализа подверглись рентгенофазовому анализу. Тигли закрывались крышкой, но абсолютно замкнутая система не была создана, поэтому попадание атмосферного воздуха не исключено.

В системе свинцовый шлам–сера с составом из 1 части шлама + 0,1 части серы (рис. 1, a) в процессе динамического нагревания обозначилась на кривых серия эндо- и экзотермических проявлений, вызванных как компонентами шлама и серы, так и производными продуктами, образованными от этих веществ. К числу реакций, связанных с серой, относятся процессы эндотермической направленности в интервале 90–110. Кривая DTA образует в этом промежутке температур три пика в области температур 90, 100 и 110 °C.

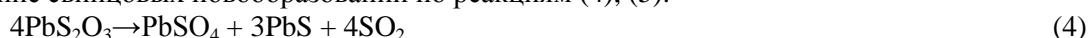
Первые два из них едва заметны на фоне меняющейся температуры шихты, связаны с полиморфным превращением серы из  $\alpha$ -состояния в  $\beta$ . Два последующих пика обусловлены удалением воды ранее аккумулированной серой. Все три реакции протекают в интервале температур, где одновременно осуществляется взаимодействие основного компонента шлама с серой.

Далее, после обезвоживания, кривая DTA описывает два встречных термических эффекта: экзотермический, обусловленный взаимодействие серы по реакции (1)–(3) с образованием  $\text{SO}_2$ , и эндотермический, вызванный удалением за пределы системы этого диоксида:



Рассматриваемая кривая в интервале 160–400 °C дает экзотермический пик, который в промежутке 245–375 °C прерывается эндотермическим углублением. Оба эффекта в пределах температур их проявления образуют на указанной кривой отрезок М-образной формы. В пределах названных температур на кривой DTA также обнаружены участки при 245 и 400 °C, не относящиеся только к сере.

Здесь видно, что, наряду с указанными реакциями, параллельно осуществляется разложение свинцовых новообразований по реакциям (4), (5).



Дальнейшее нагревание системы приводит также и к развитию реакций физического рода, к которым относятся плавление и сублимация продуктов обжига. На глубокой впадине дифференциальной кривой при 445 °C обнаружен слабый пик эндотермической принадлежности. Морфологию данного пика, с учетом траекторий DTG- и TG-линий в окрестности этой температуры, следует отнести к инконгруэнтному плавлению находя-

щегося в шихте свинцового соединения ( $PbS+PbO+PbSO_4$ ). Рентгенофазовый анализ обнаружил англезит и галенит в продуктах обжига (рис. 2). Судя по ничтожной мощности теплового проявления при этой температуре, количество вещества, вступившего в это плавление, весьма незначительно.

Выше по температурной шкале (при 785 °C) система дает еще одно преобразование, относящееся к реакции физического рода – плавление PbO. Эффект, связанный с переходом компонента пробы в новое состояние, обозначился на кривой DTA весьма четким и умерено глубоким пиком эндотермической направленности. Все термофизические параметры данного превращения и морфология пика свидетельствуют о принадлежности рассматриваемого процесса к плавлению окисульфата свинца. Последний высокотемпературный этап термического поведения системы относится к смешанным процессам типа сублимации системы, а также вызван выходом из нее диоксида серы в качестве летучих DTA-продуктов разрушения неустойчивых структур сульфата свинца.

Динамическое нагревание системы шлам-серы с составом из 1 части шлама и 0,3 части серы (рис. 1, б) и с составом 1 части шлама и 0,5 части серы (рис. 1, в) дают информацию о поведении системы, несколько отличающемся от образца (рис. 1, а). Интенсивность термических реакций в указанных образцах настолько разная, насколько концентрации серы различаются между собой. Так, увеличение серы до значения, указанного в образцах (рис. 1, б, в), привело к увеличению амплитуд эндотермических пиков, образованных на DTA-кривых в промежутке 60-120 °C. Увеличились также высоты экзотермических эффектов взаимодействия серы с сульфатом свинца с образованием  $SO_2$  по реакции (1). А вновь образованное соединение  $SO_2$  при выходе из системы приводит к значительному оттоку из нее тепла, по сравнению с прокаливанием смеси (рис. 1, а). Эти противоположно направленные термические эффекты отразились на кривых образцов (рис. 1, б, в).

В каждом случае суммарный результат двух встречных термических проявлений по-своему скорректировали DTA-линии в рассматриваемых пределах температур. Более интенсивными в этом случае оказались экзо- и эндотермическая реакции образца (рис. 1, в), что вызвано повышенным содержанием в нем серы. Относительно физических форм преобразования системы наблюдается такая же тенденция роста активности реакции с повышением концентрации указанного компонента в смеси. На дериватограммах сравниваемых образцов четко прослеживается увеличение глубины эндотермического эффекта по мере роста в составе шихты количества серы.

Концовка высокотемпературного поведения испытываемых проб протекает по тому же сценарию, что и в образце (рис. 1, а). Это означает, что в пределах ~820-1000 °C и выше процесс прокаливания смесей завершается частичным выбросом из системы диоксида серы (продукта взаимодействия), а также сублимацией более тяжелых сульфатных соединений.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

Все пробы, состоящие из шлама и серы, подверглись плавлению в одних и тех же пределах температур (760-780 °C). Механизм этих термических переходов у данных образцов един, поскольку едина сама динамика поглощения тепла при плавлении. Об этом свидетельствует однотипность DTA-пиков указанных процессов. Единственным структурно-оформленным минералом в продуктах обжига, давшим всеми тремя образцами вышеописанные проявления, является англезит. Согласно рентгеновским определениям, все продукты обжига из этой группы образцов содержат в себе по 100%  $PbSO_4$ .

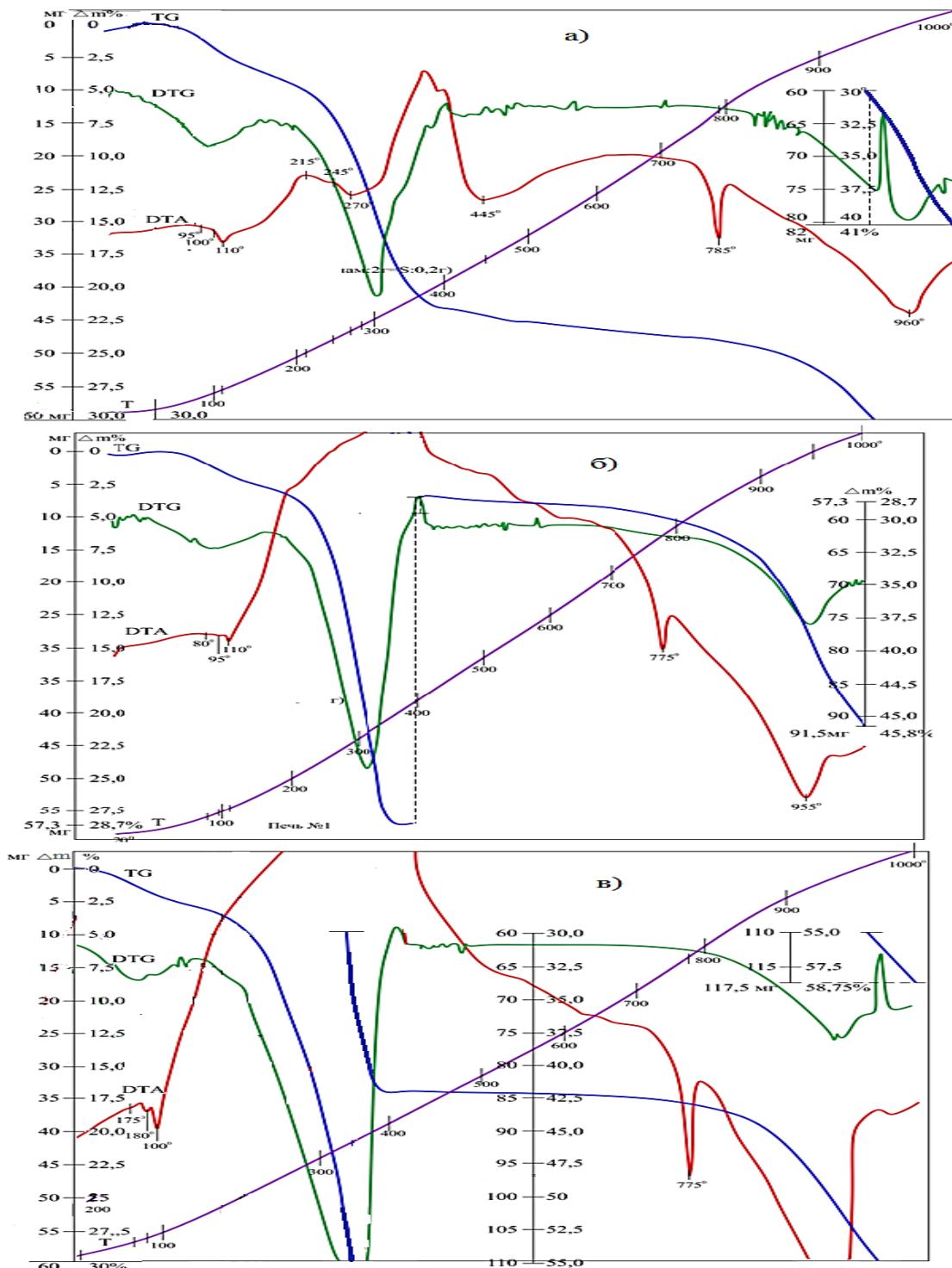


Рисунок 1 - Дериватограмма системы свинцовый шлам–серы:  
а - шлам: S=1:0,1; б - шлам: S=1:0,3; в - шлам: S=1:0,5

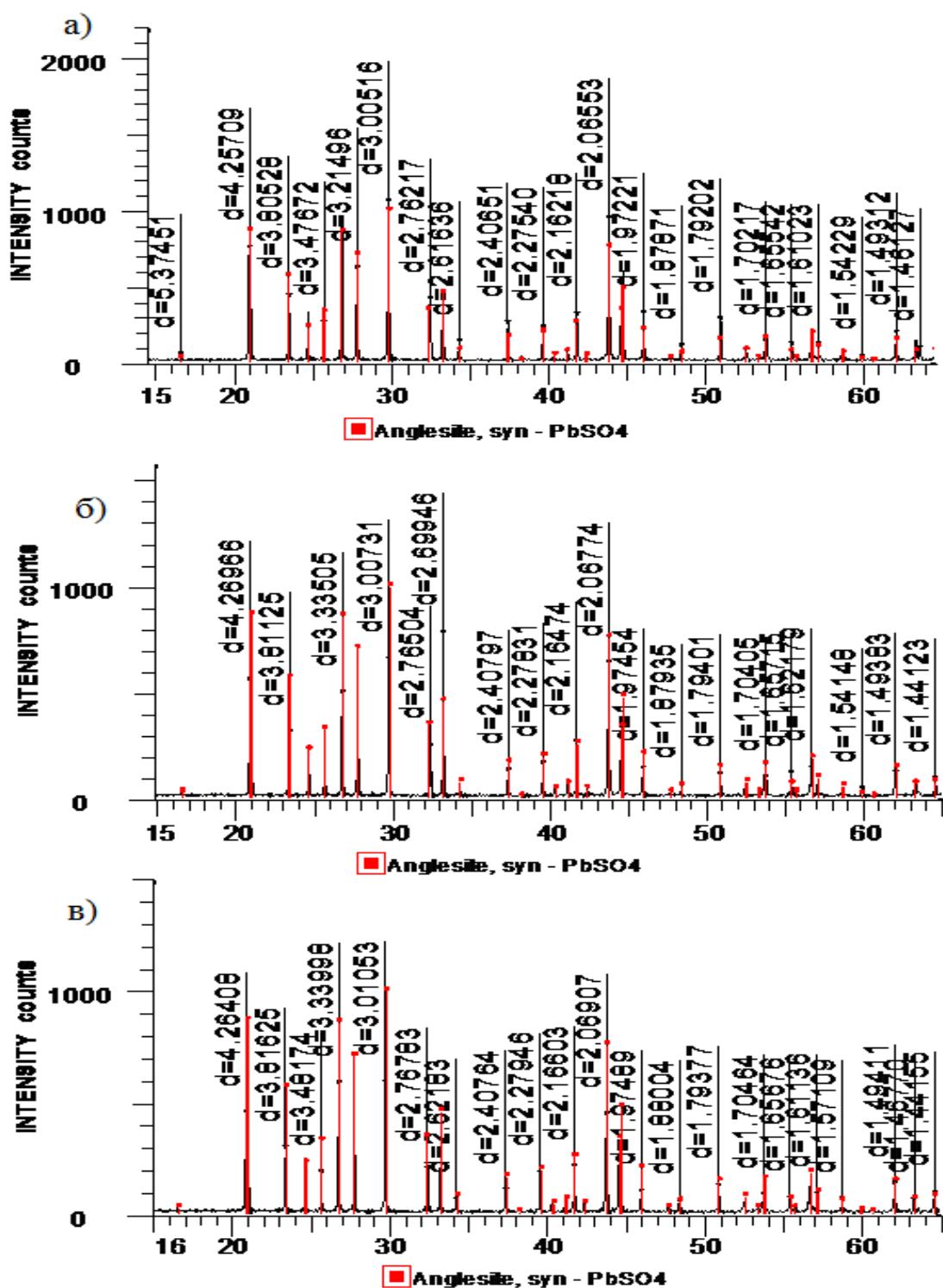


Рисунок 2 - Дифрактограмма образцов после термического анализа

## Список литературы

1. Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Состояние, проблемы, решения / Сб. под ред. акад. НАН РК А.А. Жарменова. - Астана: Фолиант, 2008. - Т. 7. – 500 с.
2. Абишева З.С. Комплексная переработка свинцовых шламов медного производства / З.С. Абишева, А.Н. Загородняя, А.С. Шарипова // Цветные металлы. - 2002. - № 3. - С. 36-42.
3. Кокушева А.А. Извлечения рения из сернокислотных шламов Джезказганского медеплавильного завода / А.А. Кокушева Г.А. Дайрабаева, А.Ш. Усабекова и др. // Цветные металлы. - 1992. - № 5. – С. 14-15.
4. Лайкин В.К. Извлечения рения из сернокислотных шламов Джезказганского ГМК / В.К. Лайкин, Г.А. Денисюк // Комплексное использование минерального сырья АН КазССР. - Алматы, 1983. - Деп. в ВИНТИ 6.09.1983, № 5117-83.
5. Масенов Ч.Т. Получение осмийсодержащего концентрата из полупродуктов медного производства / Ч.Т. Масенов, Е.И. Пономарева // Тр. всесоюз. координационного совещания «Химия, технология, анализ, перспективы применения осмия и его соединений». - Алма-Ата: Наука, 1979. - С. 177-183.
6. A.Zharmenov, A. Sydykov, F.Berdiculova, A.Serikbayeva. Hydro-metallurgical processing of rare-metal-containing technical-in-genesis products of copper production //15<sup>th</sup> conference on Environment and Mineral Processing. – Part II - VSB-TU OSTRAVA - Czech Republic, 8.-10.6.2011 - P.193-197.
7. Пат. 13820. KZ. Способ переработки свинецсодержащих материалов с извлечением рения и осмия / А.А. Жарменов, А.О. Сыдыков, К.С. Идрисова и др.; Опубл. 15.12.2003, бюл. № 12.
8. Пат. 13564. RK. Способ получения осмиеового концентрата из свинцового шлама медного производства / А.А. Жарменов, А.О. Сыдыков, К.С. Идрисова и др.; Опубл. 14.04.2006.
9. Иванова В.П. Термический анализ минералов и горных пород. - Ленинград, 1974. - 398 с.
10. Цветков А.И. Дифференциальный термический анализ карбонатных минералов / А.И. Цветков, Е.П. Вальяшихина, Г.О. Пилоян. – М.: Наука, 1964. - 167 с.
11. Фекличев В.Г. Диагностические константы минералов: Справочник. – М.: Недра, 1989. - 478 с.

Получено 18.04.2018

по страницам



## САМЫЙ ВЫСОКИЙ ВЕТРЯК МИРА

Он вскоре даст энергию в городке Гайлдорф близ Штутгарт (Германия). Трёхлопастной винт на башне высотой 178 м увеличивает общую высоту сооружения до 264,5 м. В основании ветряка устроен резервуар высотой 40 м, куда закачивается вода во время сильного ветра и низкого потребления энергии. В затишье вода будет спускаться в расположеннное ниже озеро, по пути вращая генератор. Этот водный аккумулятор запасает до 70 мегаватт-часов энергии. Переключение от процесса накачки до спуска воды займёт полминуты.

«Наука и жизнь» № 2, 2018



УДК 539.3/.6:517.958

**Б.М. Абдеев, Г.Е. Муслиманова, Т.Ф. Брим**Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

**НОВОЕ РЕШЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА  
О ДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛЫ НА ПОЛУПЛОСКОСТЬ**

*На основе расширенной математической модели плоской деформации получено уточненное решение в полярной системе отсчета фундаментальной двумерной задачи теории упругости о перпендикулярном приложении к границе однородной изотропной полуплоскости сосредоточенной нагрузки, отнесенной к единице толщины пластиинки. В отличие от аналогичной классической задачи Фламана, представляющей собой частный случай простого радиального напряженного состояния, учтены две компоненты напряжений - нормальное и касательное. Кроме того, устранены известные противоречия, связанные с неопределенностью углового перемещения на границе полуплоскости и постоянством второй кинематической составляющей при стремлении к бесконечности линейной координаты произвольной точки материала физически линейной сплошной среды.*

Жазық деформацияның көзейтілген математикалық моделінің негізінде, серпімділік теориясының полярлық санақ жүйесіндегі фундаменталды екіншемді есебінің біртекті изотропты жарты жазықтықтың шекарасына перпендикуляр қадалған жүктеменің пластиинаның бірлік қалыңдығына жатқызылған нақтыланған шешімі алынған. Ұқсас класикалық Фламан есебінен айырмашылығы, жеке жағдайдағы қаралайым радиалды кернеулік күйі ұсынылған, екі компонент - қалыпты және жанама кернеулер ескерілген. Сонымен қатар физикалық желілік тұмас ортасы бар материалың кез келген нүктесінің сыйықтық координаттарының шексіздікке үмттылу кезінде құрайтын екінші кинематикалық тұрақтылығы мен бұрыштық орын ауыстыруларының тұрақсыздығына байланысты жарты жазықтық шекарасындағы белгілі қайшылықтары жойылды.

*The refined solution in the polar reference frame of the fundamental two-dimensional problem of the theory of elasticity about a perpendicular application to the boundary of a homogeneous isotropic half-plane of a concentrated load per the plate thickness was obtained on the basis of the extended mathematical model of planar deformation. In contrast to the analogous classical Flaman problem, which is a special case of a simple radial stress state, two stress components - normal and tangential were taken into consideration. In addition, the known contradictions associated with the uncertainty of the angular displacement on the boundary of the half-plane and constancy of the second kinematic component when the linear coordinate of an arbitrary point of material of a physically linear continuous medium tends to infinity were eliminated.*

**Ключевые слова:** сила, напряжение, деформация, перемещение, полу平面, упругость, коэффициент Пуассона, модуль упругости, граничные условия, изотропия, однородность.

Рассмотрим сосредоточенную нагрузку  $P$ , нормальную к границе  $x=0$  упругодеформируемой полу平面  $x>0$ , материал которой однородный, сплошной, изотропный и подчиняется закону Гука, а распределение силового параметра  $P$  по координатной оси  $z$  является равномерным (рис. 1). Существует фундаментальное решение этой задачи, называемое простым радиальным распределением напряжений,

$$\sigma_r = \sigma_r(r, \theta) = -\frac{2P}{\pi} \cdot \frac{\cos\theta}{r}, \quad \sigma_\theta = \tau = 0, \quad \left(0 < r \leq \infty, \quad 0 \leq \theta \leq \pm \frac{\pi}{2}\right), \quad (1)$$

которое получил в 1892 году французский ученый А. Фламан [1-3] на основе осесимметричной пространственной математической модели Буссинеска [1, 4, 5]. Формулы (1) удо-

взаимодействуют двум уравнениям равновесия без учёта объёмных сил и условию сплошности среды или уравнению Мориса Леви в полярных координатах  $r, \theta$  [1, 3, 6]:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau}{\partial r} + \frac{2\tau}{r} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \tau}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0; \quad (3)$$

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) (\sigma_r + \sigma_\theta) = 0, \quad (4)$$

где  $\sigma_r, \sigma_\theta, \tau$  - нормальные ( $\sigma_r, \sigma_\theta$ ) и касательное ( $\tau$ ) напряжения в произвольной точке  $B$  полуплоскости (рис. 1).

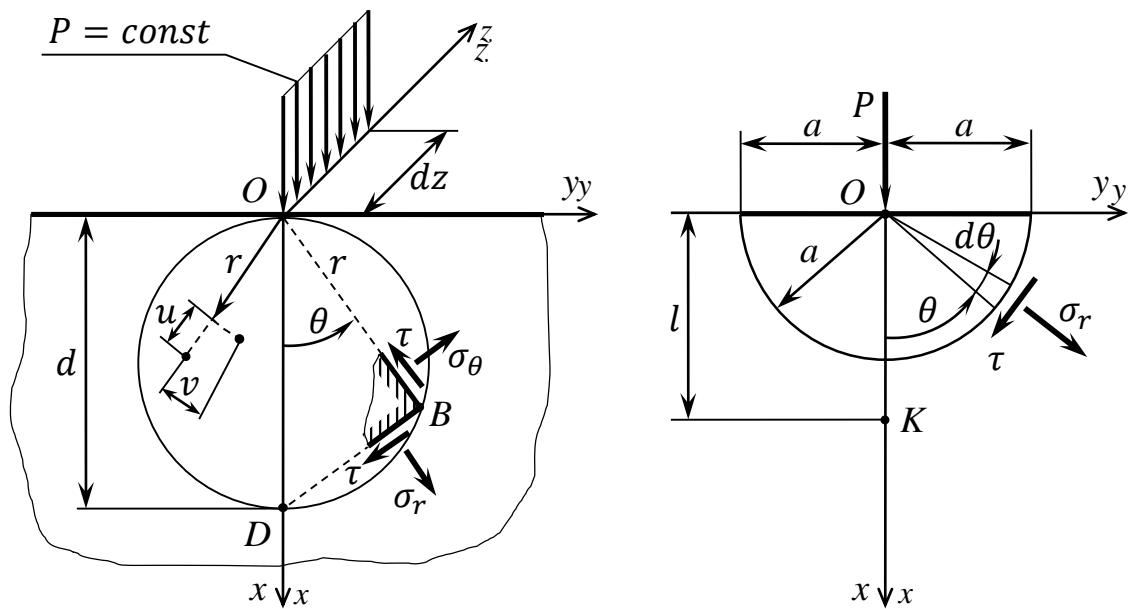


Рисунок 1 – Расчетная схема напряженного состояния в плоскости  $xOy$

Границные условия также соблюдаются вследствие того, что функции  $\sigma_r$  и  $\tau$  тождественно равны нулю, а результирующая  $P \cdot dz$  внутренних усилий  $\sigma_r$  по принципу Сен-Венана [1] заменяется эквивалентной нагрузкой, распределённой по поверхности полуцилиндра малого радиуса  $a \ll r$ , то есть

$$dz \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sigma_r \cdot a \cdot \cos \theta d\theta = -\frac{4P \cdot dz}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 \theta d\theta = -Pdz. \quad (5)$$

Оказывается далее, что если провести окружность произвольного радиуса  $d$  с центром на оси  $x$ , касающуюся верхнего края полуплоскости, где приложена сила  $P$  (рис. 1), то для любой точки  $B$  этого круга, за исключением нулевой [1, 4],

$$d \cdot \cos \theta = r \quad (6)$$

и на основании (1)

$$\sigma_r = -\frac{2P}{\pi d} = \text{const}. \quad (7)$$

При этом и наибольшее касательное напряжение  $\tau_{max}$  также остаётся постоянным [6, 7]:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{2} = \frac{P}{\pi d} = const. \quad (8)$$

Продолжая решение задачи в напряжениях (1), Фламан [2] вывел функциональные отношения для радиального  $u = u(r, \theta)$  и кольцевого  $v = v(r, \theta)$  перемещений точек, расположенных на границе  $x = 0$  полуплоскости при  $\theta = \pm \frac{\pi}{2}$  (рис. 1), что, как известно, имеет большое практическое значение для многих технических приложений, связанных прежде всего с механико-математическим моделированием плоских контактных задач [8-10], лежащих в основе расчета подшипников скольжения, цилиндрических катков [8, 5], балок на упругом основании [11] и т.д. Соответствующие формулы выглядят следующим образом, применительно к плоской деформации [8]:

$$u_r = u\left(r, \pm \frac{\pi}{2}\right) = -\frac{(1+\mu)(1-2\mu)P}{2E} = const, \quad (9)$$

$$v_r = v\left(r, -\frac{\pi}{2}\right) = -v_r = -v\left(r, \frac{\pi}{2}\right) = \frac{2P(1-\mu^2)}{\pi E} \ln \frac{l}{r} \mp \frac{(1+\mu)P}{\pi E}, \quad (10)$$

где  $E, \mu$  – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала;  $l$  – координата произвольно выбранной точки  $K$  оси  $x$  (рис. 1), где

$$u(l, 0) = 0. \quad (11)$$

Перемещение  $v_r$  считается положительным, если оно направлено в сторону увеличения угла  $\theta$  [1]. В данном случае  $v\left(r, -\frac{\pi}{2}\right) = -v\left(r, \frac{\pi}{2}\right)$  (рис. 1) и это отражено в равенстве (10).

Можно заметить, что классические зависимости (9), (10) содержат известные и физически необоснованные противоречия о том, что в случае  $r = \infty$  (по принципу Сен-Венана [1]) обе функции (9), (10) должны равняться нулю, то есть

$$u_r\left(\infty, \pm \frac{\pi}{2}\right) = v\left(\infty, -\frac{\pi}{2}\right) = -v\left(\infty, \frac{\pi}{2}\right) = 0, \quad (12)$$

однако условие (12) не соблюдается, так как при  $r = \infty$ :

$$u_r = const, |v_r| = \infty. \quad (13)$$

Парадоксальный результат (13) не соответствует и базовому решению Буссинеска (рис. 2) [4], в случае перпендикулярно направленной силы  $P$  на полупространство, в котором отсутствуют вышеуказанные противоречия на граничной плоскости  $x = 0$ . Как следствие,

$$\left. \begin{aligned} u_B &= u_B(r, 0) = -\frac{(1-2\mu)\cdot(1+\mu)}{2\pi E} \cdot \frac{1}{r} = u_B(r), \\ v_B &= v(r, 0) = \frac{P(1-\mu^2)}{\pi E} \cdot \frac{1}{r} = v_B(r); \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

откуда, в предельном случае  $r = \infty$ , получается нулевой результат

$$\lim_{r \rightarrow \infty} u_B(r) = \lim_{r \rightarrow \infty} v_B(r) = 0. \quad (15)$$

Для устранения физико-математической некорректности – парадокса (13) – вводим расширенную, по сравнению с (1), модификацию напряженного состояния, возникающего в упругодеформируемой полуплоскости (рис. 1):

$$\bar{\sigma}_r = \bar{\sigma}_r(r, \theta) \neq 0, \quad \bar{\sigma}_\theta = 0, \quad \bar{\tau} = \bar{\tau}(r, \theta) \neq 0 \quad \left(0 < r \leq \infty, 0 \leq \theta \leq \pm \frac{\pi}{2}\right). \quad (16)$$

Горизонтальная черта над буквенными символами является отличительным признаком принадлежности того или иного параметра к усовершенствованной расчетной модели (рис. 1).

С учетом внутренних сил (16) система дифференциальных уравнений (2)-(4) принимает вид:

$$\frac{\partial \bar{\tau}}{\partial r} + \frac{2\bar{\tau}}{r} = 0, \quad (17)$$

$$\frac{\partial \bar{\sigma}_r}{\partial r} + \frac{\bar{\sigma}_r}{r} = -\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \bar{\tau}}{\partial \theta}, \quad (18)$$

$$\frac{\partial^2 \bar{\sigma}_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \bar{\sigma}_r}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \bar{\sigma}_r}{\partial \theta^2} = 0. \quad (19)$$

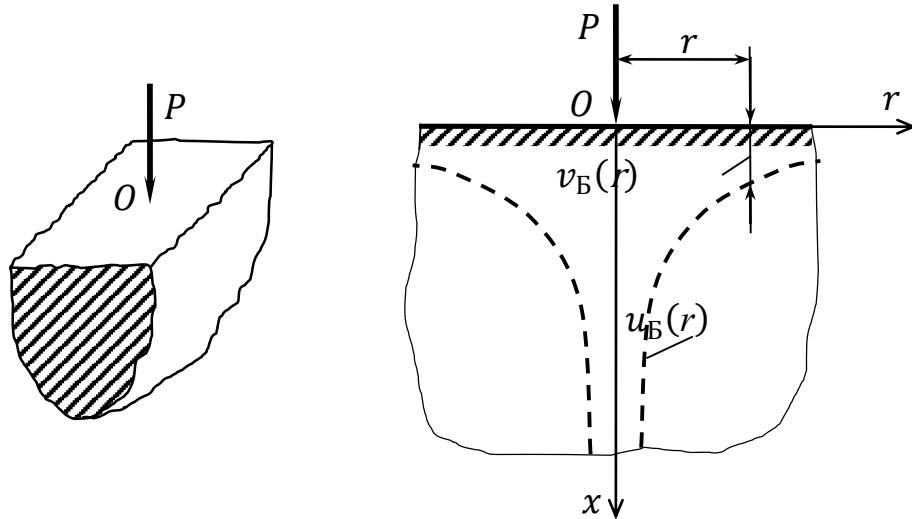


Рисунок 2 – Пространственная расчетная модель Буссинеска и общий гиперболический характер изменения краевых функций  $v_B(r)$ ,  $u_B(r)$

Интегрируя (17) [12, 13], будем иметь

$$\bar{\tau} = \bar{\tau}(r, \theta) = f \cdot e^{-2 \int \frac{dr}{r}} = f \cdot e^{-2 \ln r} = \frac{f}{r^2}, \quad (20)$$

где  $f = f(\theta)$  – пока неизвестная функция, зависящая от угловой координаты  $\theta$ , которая изменяется в пределах

$$0 \leq \theta \leq \pm \frac{\pi}{2}; \quad (21)$$

$e = 2,71828 \dots$  – основание натурального логарифма.

Подставляем (20) в правую часть неоднородного уравнения (18) и решаем его, используя справочную информацию [12]. В результате получаем

$$\frac{\partial \bar{\sigma}_r}{\partial r} + \frac{\bar{\sigma}_r}{r} = -\frac{1}{r^3} \cdot \frac{\partial f}{\partial \theta}, \quad (22)$$

откуда следует

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_r = \bar{\sigma}_r(r, \theta) &= e^{-\int \frac{dr}{r}} \cdot \left( - \int \frac{1}{r^3} \cdot \frac{\partial f}{\partial \theta} \cdot e^{\int \frac{dr}{r}} \cdot dr + f_1 \right) = \\ &= \frac{1}{r} \left( - \frac{df}{d\theta} \int \frac{1}{r^3} \cdot r \cdot dr + f_1 \right) = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{df}{d\theta}, \end{aligned} \quad (23)$$

где  $f_1 = f_1(\theta) = 0$  – произвольная интегрирования, которую исключаем из дальнейших выкладок.

Принимая во внимание (23), преобразуем формулу (19) в однородное уравнение третьего порядка с постоянными коэффициентами, после умножения на  $r^4$  [12, 14]:

$$\frac{d^3f}{d\theta^3} + 4 \frac{df}{d\theta} = 0. \quad (24)$$

Общим решением (24) является сумма [14, 15]:

$$f = f(\theta) = \frac{C_1}{2} \sin 2\theta + \frac{C_2}{2} \cos 2\theta + C_3 = \frac{C_1}{2} \sin 2\theta, \quad (25)$$

где  $C_1 = \text{const}$  – искомый параметр, а две другие константы

$$C_2 = C_3 = 0, \quad (26)$$

ввиду нечетности функции  $\bar{\tau} = \bar{\tau}(r, \theta)$  по переменной  $\theta$ , учитывая симметрию расчетной схемы (рис. 1).

Воспользовавшись выведенными зависимостями (20), (23), (25), представляем компоненты напряжений  $\bar{\sigma}_r$  и  $\bar{\tau}$ :

$$\bar{\sigma}_r = \bar{\sigma}_r(r, \theta) = C_1 \cdot \frac{\cos 2\theta}{r^2} \quad (27)$$

$$\bar{\tau} = \bar{\tau}(r, \theta) = \frac{C_1}{2} \cdot \frac{\sin 2\theta}{r^2}. \quad (28)$$

Нетрудно проверить, что, как и в решении Фламана (1) [1, 2], требуемые краевые статические условия

$$\bar{\tau}\left(r, \pm \frac{\pi}{2}\right) = 0, \quad \bar{\sigma}_\theta \equiv 0 \quad (29)$$

выполняются абсолютно точно.

Для определения постоянной  $C_1$ , по аналогии с моделью (1) [2], вырезаем из полу平面 (рис. 1) малый элемент, ограниченный цилиндрической поверхностью, имеющей радиус  $a \ll r$ . Далее проектируем на ось  $x$  внутренние силы, действующие по криволинейной границе полуцилиндра, а также внешнюю нагрузку  $P$ :

$$\sum X = 0, \Rightarrow 2 dz \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\bar{\sigma}_r \cdot \cos \theta + \bar{\tau} \cdot \sin \theta) a \cdot d\theta + P \cdot dz = 0. \quad (30)$$

Раскрывая с помощью [12, 15] и (27), (28) интегралы в уравнении (30) при  $r = a$ , находим константу  $C_1$ :

$$\begin{aligned} \frac{2C_1}{a} \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\cos^3 \theta - \sin^2 \theta \cdot \cos \theta + \sin^2 \theta \cdot \cos \theta) d\theta &= \frac{2C_1}{a} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^3 \theta d\theta = \\ &= \frac{2C_1}{a} \left( \sin \theta \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} - \frac{\sin^3 \theta}{3} \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} \right) = \frac{4C_1}{3a} = P, \Rightarrow C_1 = -\frac{3Pa}{4}. \end{aligned} \quad (31)$$

Исключая  $C_1$  в соответствии с (31) из зависимостей (27), (28), представляем компоненты трех напряжений согласно предпосылке (16):

$$\left. \begin{aligned} \bar{\sigma}_r &= \bar{\sigma}_r(r, \theta) = -\frac{3Pa}{4} \cdot \frac{\cos 2\theta}{r^2}, \\ \bar{\tau} &= \bar{\tau}(r, \theta) = -\frac{3Pa}{8} \cdot \frac{\sin 2\theta}{r^2}, \\ \bar{\sigma}_\theta &= \bar{\sigma}_\theta(r, \theta) = 0, \\ (0 < r &\leq \infty, 0 \leq \theta \leq \pm \frac{\pi}{2}) \end{aligned} \right\}. \quad (32)$$

Полученные функции (32), в отличие от известных формул (1) [1, 2], включают дополнительный параметр  $a$ , появление которого возможно обосновать [1], так как расчетная схема (рис. 1) является идеализированной. В точке приложения линейной сосредоточенной нагрузки  $P$  теоретические напряжения  $\bar{\sigma}_r = \bar{\sigma}_r(0, \theta) = \bar{\tau} = \bar{\tau}(0, \theta) = \infty$ , поскольку конечная сила  $P$  при  $r = 0$  действует на бесконечно малой площади. Фактически же нагрузка  $P$  распределяется на площадке хотя и малой, но конечной ширины, в качестве

которой будем считать линейный размер  $2a$  (рис. 1). Численное значение  $a$  может быть или задано, как при исследовании давления жесткого плоского штампа шириной  $2a$  на упругое тело-полуплоскость [9, 10], либо определяться в ходе решения конкретной прикладной задачи, например контактной о первоначальном взаимодействии по линии  $z$  (рис. 1) двух параллельных цилиндров, когда параметр  $a$  является переменной величиной [8-10], зависящей от  $P$  и физико-геометрических характеристик рассматриваемой механической системы.

В связи с тем, что размер  $a$  пока неизвестен, невозможно количественно сопоставить решения (1) и (32), однако в качественном отношении такую сравнительную оценку сделать вполне реально (рис. 3).

Продолжая уточнённое решение задачи с использованием формул (32) и (6), легко доказать, что, как и в классическом случае (1) (рис. 1), существуют линии равных напряжений (изостаты) двух видов. Для подтверждения данного факта предварительно находим главные напряжения  $\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_3$  и экстремальную касательную составляющую  $\bar{\tau}_{max}$  в плоскости  $xOy$  [6, 12] (рис. 1) с учётом (32):

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{1,3} &= \frac{\bar{\sigma}_r + \bar{\sigma}_\theta}{2} \pm \sqrt{(\bar{\sigma}_r - \bar{\sigma}_\theta)^2 + 4\bar{\tau}^2} = \frac{\bar{\sigma}_r}{2} \pm \sqrt{\bar{\sigma}_r^2 + 4\bar{\tau}^2} = \\ &= -\frac{3Pa}{8r^2} (\cos 2\theta \mp \sqrt{\cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta}) = -\frac{3Pa}{8r^2} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta \mp 1) = \\ &= -\frac{3Pa}{8r^2} [\cos^2 \theta - \sin^2 \theta \mp (\sin^2 \theta + \cos^2 \theta)], \end{aligned} \quad (33)$$

откуда получаем

$$\bar{\sigma}_1 = \frac{3Pa}{4r^2} \sin^2 \theta \geq 0, \quad (34)$$

$$\bar{\sigma}_3 = -\frac{3Pa}{4r^2} \cos^2 \theta = -\frac{3Pa \cdot \cos^2 \theta}{4d^2 \cdot \cos^2 \theta} = -\frac{3Pa}{4d^2} = const, \quad (35)$$

$$\bar{\tau}_{max} = \frac{\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3}{2} = \frac{3Pa}{4r^2}, \quad r = const. \quad (36)$$

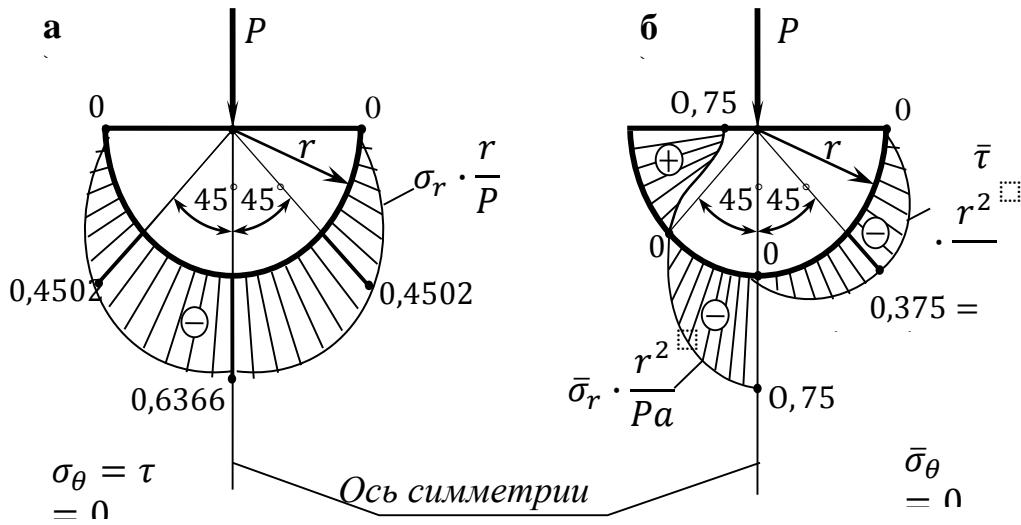


Рисунок 3 – Безразмерные эпюры напряжений на полуокружности произвольного радиуса  $r \gg a$ : а - по фундаментальной модели (1); б - в соответствии с выведенными формулами (32)

На рис. 4 приведены изостаты (35) и (36).

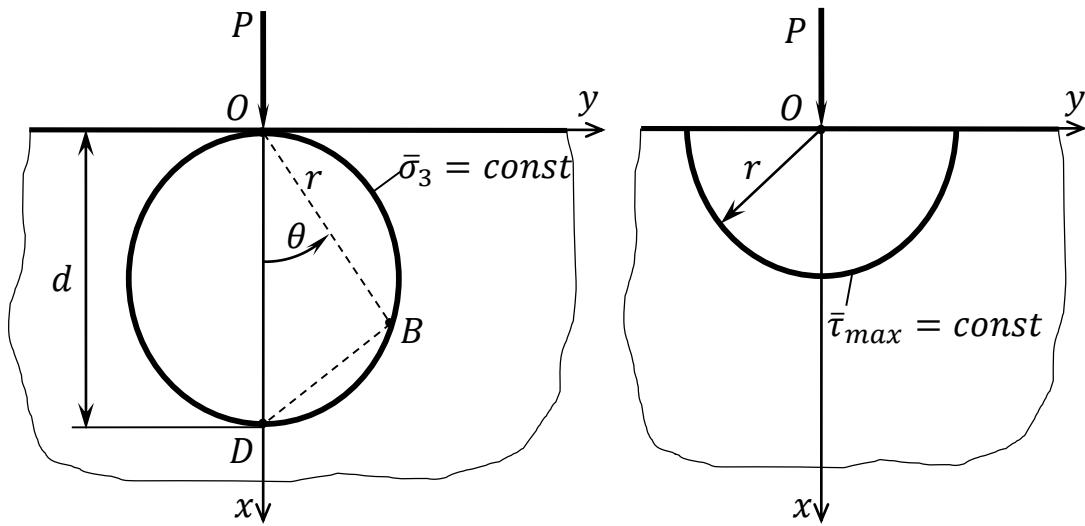


Рисунок 4 – Траектории постоянных напряжений  $\bar{\sigma}_3$  и  $\bar{\tau}_{max}$

С целью вычисления перемещений  $\bar{u}_r, \bar{v}_r$  верхней грани  $x = 0$  полуплоскости дополним соотношения (32), аппроксимирующие напряжения:

- дифференциальными уравнениями Коши [1, 6, 8]

$$\bar{\varepsilon}_r = \frac{\partial \bar{u}}{\partial r}, \quad (37)$$

$$\bar{\varepsilon}_\theta = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \bar{v}}{\partial \theta} + \frac{\bar{u}}{\bar{v}}, \quad (38)$$

$$\bar{\gamma} = \frac{\partial \bar{v}}{\partial r} - \frac{\bar{v}}{r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \bar{u}}{\partial \theta}, \quad (39)$$

связывающими относительные деформации  $\bar{\varepsilon}_r, \bar{\varepsilon}_\theta, \bar{\gamma}$  с функциями  $\bar{u} = \bar{u}(r, \theta), \bar{v} = \bar{v}(r, \theta)$ ;

- зависимостями закона Гука для плоской двумерной деформации

$$\bar{\varepsilon}_z = \bar{\varepsilon}_z(r, \theta) = C \frac{\cos k\theta}{r^n} \quad (40)$$

в обобщённой интерпретации [6, 7]

$$\bar{\sigma}_z = \mu(\bar{\sigma}_r + \bar{\sigma}_\theta) + \bar{\varepsilon}_z \cdot E = \mu\bar{\sigma}_r + CE \frac{\cos k\theta}{r^n}, \quad (41)$$

$$\bar{\varepsilon}_r = \frac{1-\mu^2}{E} \left( \bar{\sigma}_r - \frac{\mu}{1-\mu} \bar{\sigma}_\theta \right) - \mu\bar{\varepsilon}_z = \frac{1-\mu^2}{E} \bar{\sigma}_r - \mu C \frac{\cos k\theta}{r^n}, \quad (42)$$

$$\bar{\varepsilon}_\theta = \frac{1-\mu^2}{E} \left( \bar{\sigma}_\theta - \frac{\mu}{1-\mu} \bar{\sigma}_r \right) - \mu\bar{\varepsilon}_z = -\frac{\mu(1+\mu)}{E} \bar{\sigma}_r - \mu C \frac{\cos k\theta}{r^n}, \quad (43)$$

$$\bar{\gamma} = \frac{2(1+\mu)}{E} \cdot \bar{\tau}, \quad (44)$$

где  $\bar{\sigma}_z = \bar{\sigma}_z(r, \theta)$  - нормальное напряжение по направлению оси  $z$  (рис. 1);  $C, k, n$  – константы, подлежащие определению таким образом, чтобы, согласно правилу знаков (10),

$$\bar{v}_r \left( r, \frac{\pi}{2} \right) < 0. \quad (45)$$

Исходя из физического смысла задачи и анализа формул (1), (14), (32), можно предварительно спрогнозировать следующие взаимозависящие пределы изменения коэффициентов  $k, n$

$$0 < k < 1, \quad 0 < n < 2 \quad (46)$$

при соблюдении условий, подобных (15), то есть

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \bar{u}_r(r) = \lim_{r \rightarrow \infty} \bar{v}_r(r) = 0. \quad (47)$$

Путём совместного рассмотрения формул (32), (37)-(38), (42)-(43) получаем систему уравнений относительно перемещений  $\bar{u}$  и  $\bar{v}$ :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial r} = -\frac{3Pa(1-\mu^2)}{4E} \cdot \frac{\cos 2\theta}{r^2} - \mu C \frac{\cos \kappa \theta}{r^n}, \quad (48)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial \theta} + \bar{u} = -\frac{3Pa\mu(1+\mu)}{4E} \cdot \frac{\cos 2\theta}{r^2} - \mu C \frac{\cos \kappa \theta}{r^n}, \quad (49)$$

откуда после интегрирования [12]

$$\bar{u} = \bar{u}(r, \theta) = \frac{3Pa(1-\mu^2)}{4E} \cdot \frac{\cos 2\theta}{r} + \frac{\mu C}{-n+1} \cdot \frac{\cos \kappa \theta}{r^{n-1}} + \zeta(\theta), \quad (50)$$

$$\begin{aligned} \bar{v} = \bar{v}(r, \theta) = & -\frac{3Pa}{8E} (1 + \mu)(1 - 2\mu) \cdot \frac{\sin 2\theta}{r} - \\ & - \frac{\mu C}{\kappa} \left( \frac{1}{-n+1} + 1 \right) \cdot \frac{\sin \kappa \theta}{r^{n-1}} - \int \zeta(\theta) d\theta + \xi(r), \end{aligned} \quad (51)$$

где из очевидных кинематических условий задачи

$$\bar{u}(\infty, \theta) = 0, \bar{v}(r, 0) = 0 \quad (52)$$

следует принять при  $r = \infty$  и  $\theta = 0$  (рис. 1)

$$\zeta(\theta) = \xi(r) = 0. \quad (53)$$

Выражения (50)-(51) с учетом (53) подставляем в третье физико-геометрическое равенство правых частей соотношений (39) и (44), заменяя касательное напряжение  $\bar{\tau}$  в соответствии с (32):

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial r} - \frac{\bar{v}}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \theta} = \frac{2(1+\mu)}{4E} \cdot \bar{\tau} = -\frac{3Pa}{4E} (1 + \mu) \cdot \frac{\sin 2\theta}{r^2}, \quad (54)$$

откуда получаем функциональную зависимость

$$\kappa^2 = \kappa^2(n) = (2 - n) \cdot (n - 1), \quad (55)$$

имеющую аналитический максимум (рис. 5)

$$\kappa_M^2 = \frac{1}{4}, \kappa_M = \frac{1}{2} = max, \quad (56)$$

согласно [12], то есть

$$\left[ \frac{d\kappa^2}{dr} \right]_{n=n_M} = 3 - 2n_M = 0, \Rightarrow n_M = \frac{3}{2}, \left[ \frac{d^2\kappa^2}{dr^2} \right]_{n=n_M} = -2 < 0, \quad (57)$$

который удовлетворяет неравенствам (46). На этом основании для последующего математического моделирования принимаем в формулах (50), (51) кинематических характеристик  $\bar{u}, \bar{v}$ :

$$\kappa = \frac{1}{2}, n = \frac{3}{2}. \quad (58)$$

В результате будем иметь:

$$\bar{u} = \bar{u}(r, \theta) = \frac{3Pa(1-\mu^2)}{4E} \cdot \frac{\cos 2\theta}{r} - 2\mu C \cdot \frac{\cos \frac{\theta}{2}}{r^{\frac{1}{2}}}, \quad (59)$$

$$\bar{u}_r = \bar{u} \left( r, \pm \frac{\pi}{2} \right) = -\frac{3Pa(1-\mu^2)}{4E} \cdot \frac{1}{r} - \mu C \sqrt{2} \cdot \frac{1}{r^{\frac{1}{2}}}, \quad (60)$$

$$\bar{v} = \bar{v}(r, \theta) = \frac{3Pa}{8E} (1 + \mu)(1 - 2\mu) \cdot \frac{\sin 2\theta}{r} + 2\mu C \cdot \frac{\sin \frac{\theta}{2}}{r^{\frac{1}{2}}}. \quad (61)$$

Для вычисления постоянной  $C$  предположим, что точки с координатами  $r = \pm a, \theta = \pm \frac{\pi}{2}$ , расположенные на границе полуплоскости (рис. 1) в пределах действительного расположения внешней нагрузки  $P$  по бесконечно малой площади  $2a \cdot dz$ , не имеют горизонтального перемещения  $\bar{u}_r$  —

$$\bar{u}_r = \bar{u} \left( \pm a, \pm \frac{\pi}{2} \right) = 0. \quad (62)$$

Правомерность допущения (62) можно обосновать тем, что в прикладных задачах (например, контактных [9, 10]) на действие поперечной силы  $P \perp y$  решающее значение имеет функциональный параметр  $\bar{v}_r$ , а составляющая  $\bar{u}_r$  не принимается во внимание.

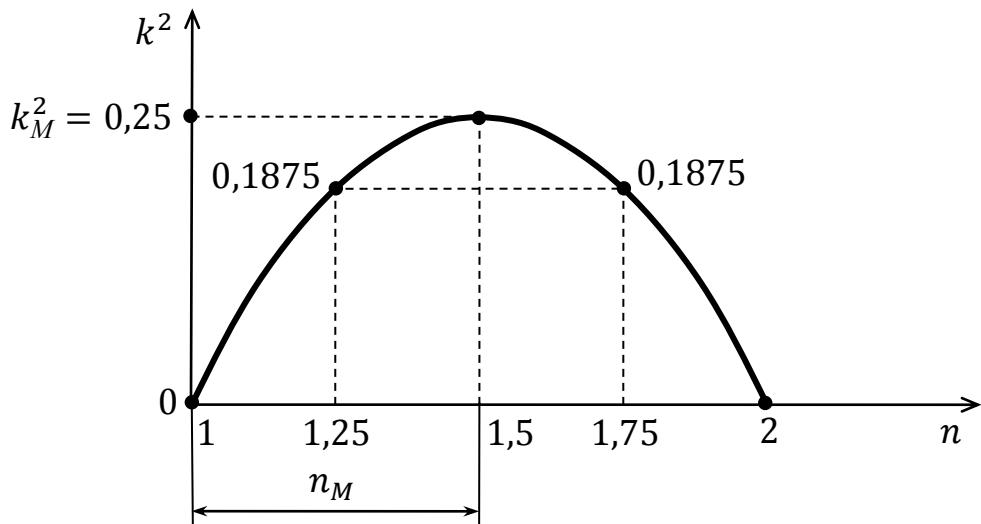


Рисунок 5 – График функции (55)

Раскрывая краевое равенство (62) при помощи (60), получаем

$$C = -\frac{3P(1-\mu^2)a^{\frac{1}{2}}}{4E\mu\sqrt{2}} \quad (63)$$

и окончательную формулу  $\bar{v}_r$  при  $\theta = \pm \frac{\pi}{2}$ , используя функцию (61), с подтверждением выполнения требуемого правила знаков (10), (45):

$$\bar{v}_r \left( r, -\frac{\pi}{2} \right) = -\bar{v}_r \left( r, \frac{\pi}{2} \right) = \frac{3P(1-\mu^2)}{4E} \cdot \left( \frac{a}{r} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (64)$$

Следует также отметить, что наличие аргумента  $r$  в знаменателе гиперболических зависимостей (59), (61) обеспечивает соблюдение условий

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \bar{u}(r, \theta) = \lim_{r \rightarrow \infty} \bar{v}(r, \theta) = 0 \quad (65)$$

для всех точек упругой среды (рис. 1), аналогичных трехмерной модели Буссинеска (14), (15) [1, 4, 5] (рис. 2). В итоге полностью исключаются вышеуказанные противоречия (13) двумерного процесса Фламана [1, 2], касающиеся всех перемещений  $\bar{u} = \bar{u}(r, \theta)$ ,  $\bar{v} = \bar{v}(r, \theta)$ ,  $\bar{u}_r = \bar{u}_r(r, \pm \frac{\pi}{2})$ ,  $\bar{v}_r = \bar{v}_r(r, \pm \frac{\pi}{2})$ , найденных в ходе решения данной плоской задачи.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- представленное в данной научно-теоретической работе усовершенствованное фундаментальное решение известной классической задачи Фламана [1, 2] является уточнённым по существу, так как учитывает два напряжения  $\bar{\sigma}_r$ ,  $\bar{\tau}$ , в сравнении с одной компонентой  $\sigma_r$  в [2], а также дополнительный параметр  $2a$ , характеризующий ширину малой площадки распределения локальной нагрузки  $P$ , действующей по направлению нормали к границе полуплоскости (рис. 1);
- базируясь на обобщенной модификации плоской линейно-упругой деформации (40)-(44), выведенные формулы функций перемещений (59)-(61), (64), не имеют

- противоречий – парадокса (13) вследствие равенства нулю, когда радиальная переменная  $r$  стремиться к бесконечности, что подтверждает их корректность и адекватность с физико-математической точки зрения;
- результаты разработанной модели напряженно-деформированного состояния, доведенные до расчетных аналитических зависимостей (32), (64), возможно использовать при решении специальных прикладных задач, имеющих непосредственное отношение к оценке прочности и жесткости разнообразных инженерно-технических деталей и конструкций, применяемых в современном машиностроении [5, 16, 17] и строительстве [1, 11, 18].

#### Список литературы

1. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер / Пер. с англ. М.И. Рейтмана; Под ред. Г.С. Шапиро. – М.: Наука, 1975. – 576 с.
2. Flamant A. Sur la repartition des pressions dans un solide rectangulaire charge transversalement. Comptes rendus des séances de l'Academie des Sciences, 1892, tome 114, 1 Semestre, № 25, pp. 1465-1468.
3. Лурье А.И. Теория упругости. – М.: Наука, 1970. – 940 с.
4. Boussinesq J. Application des Potentiels a l'Etude l'Equilibre et. du Mouvement des Solides Elastiques. Gauthier – Villars, Paris 1885.
5. Пономарев С.Д. Расчеты на прочность в машиностроении / С.Д. Пономарев, В.Л. Бидерман / Под ред. д.т.н. проф. С.Д. Пономарева. – М.: Машгиз, 1958 – Т. 2. - С. 386-391, 460-467, 477-482.
6. Киселёв В.А. Плоская задача теории упругости: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1976. – 151 с.
7. Биргер И.А. Сопротивление материалов: Учеб. пособие / И.А. Биргер, Р.Р. Мавлютов. – М.: Наука, 1986. – 560 с.
8. Рындин Н.И. Краткий курс теории упругости и пластичности. – Л.: Ленинградский ун-т, 1974. – 136 с.
9. Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости. – М., Л.: Гостехиздат, 1949. – 270 с.
10. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. –М.: Наука, 1980. – 304 с.
11. Жемочкин Б.М. Теория упругости. – М.: Госстройиздат, 1957. – С. 85-94.
12. Бронштейн И.Н., Семенджяев К.А. Справ. по математике для инженеров и учащихся втузов. – 13-е изд., испр. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит-ры, 1986. – 544 с.
13. Кошляков Н.С. Уравнения в частных производных математической физики / Н.С. Кошляков, Э.Б. Глиннер, М.Н. Смирнов. – М.: Высшая школа, 1970. – 712 с.
14. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям / Пер. с нем. С.В. Фомина. – М.: Наука, 1976. – 576 с.
15. Смолянский М.Л. Таблицы неопределённых интегралов. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит-ры, 1965. – 112 с.
16. Искрицкий Д.Е. Строительная механика элементов машин. – Л.: Изд-во «Судостроение», 1970. – 448 с.
17. Биргер И.А. Расчёт на прочность деталей машин: Справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
18. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности. – М.: ВШ, 1970. – 288 с.

Получено 18.04.2018

---

---

УДК 693.5

## У.Б. Абдикерова

Корқыт Ата атындағы Қызылорда мемлекеттік университеті, Қызылорда қ.

### АРНАЛАРДЫҢ ҚАПТАМАЛАРЫН ҚҰРҒАҚ БЕТОН ҚОСПАЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП БЕТОНДАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

*В данной статье обоснована эффективность многослойной облицовки каналов с использованием сухой и обычных бетонных смесей по технологии комплексного бетонирования.*

*Бұл мақалада құрғақ және әдеттегі бетон қоспаларын пайдаланып көшенді бетондау технологиясы бойынша арналардың көп қабатты жабындарының тиімділігі негізделген.*

*This article substantiates the effectiveness of multilayer lining channels using dry and conventional concrete mixtures using integrated concreting technology.*

**Ключевые слова:** бетондау, су өткізбеушілік, монолитті қаптама, цемент.

Тұтас құймалы (монолитті) бетон қаптамаларды жасау мәселесінде ыстық-құрғақ климатты жағдайда, құрастырылымның сапасы мен ұзақ мерзімділігі, көбінесе, жаңа төсөлген бетонга күтім жасау әдісін дұрыс таңдаумен аныкталады. Бетонның қарқынды құрғап кетуін болдырмау үшін, бәсекеге қабілетті технология қарастыруды талап етеді. Яғни осы технология аз шығынмен және қысқа мерзімде жүзеге асырылып, жұмысты жүргізу сапасын жоғарылатуды қамтамасыз етуі қажет. Аталған шаралардың болмауы, бетонның қажетті беріктігін жинақтай алмауына әкеп соғады, ал құрастырылымда оның фильтрацияға қарсы қорғаныс сапасын төмендететін жарықшактар пайда болады.

Монолитті бетоннан жасалған арна қаптамаларының құйін зерттеу нәтижесі оларды пайдалану кезеңінде фильтрация коэффициентінің уақыт өте жоғарылайтындығын көрсетті. Әртүрлі сыртқы факторлардың әсерінен қаптаманың жоғарғы қабаттарының деструктивті өзгеруі бұл процестің себебі болып табылады.

Салыстырмалы ылғалдылығы төмен және температурасы жоғары қоршаған орта жағдайында бетонға күтім жасаудың екі түрі - алғашқы және кезекті түрі талап етіледі. Алғашқы күтім пластикалық шөгүдің қарқынды дамуын болдырмау мақсатында жүргізіледі, ал кезекті күтім цементтің толық гидратациясын қамтамасыз етеді және қажетті беріктік пен тығыздыққа жету үшін бетондық қоспаның ішкі ылғалдық қорының сақталуын қамтамасыз етеді. Ылғал шығынына қатысты дағдарысты болып табылатын, бетонға күтім жасаудың ең ұзақ екінші кезеңі бетонның беріктікі жинақтау уақытымен аныкталады. Бұл уақыт суцементтік қатынасқа байланысты. Қатаюдың әдеттегі жағдайында ылғал шығынына қатысты беріктікі жинақтаудың дағдарысты уақыты 2...3 тәулікті құрайды. Сондықтан бетондық қоспаның суцементтік қатынасының төмендеуі монолитті бетон құрастырылымдарды орнату кезіндегі уақытты және еңбек шығының қысқартудың бір жолы болып табылады. Осы көзқарас төсөлген бетонның қатауы кезінде артық ылғалды жою жолымен суцементтік қатынасты төмендету әдісіне қызығушылықты сипаттайды. Мұндай эффект құрастырылымға әуелі құрғақ, одан кейін жасалған қоспаны қабаттап төсеген кезде мүмкін болады.

Суөткізбеушілікті және пайдалану мерзімін арттыру үшін ұш қабаттан тұратын қаптама жасау ұсынылады. Бірінші (жоғарғы) және үшінші (төменгі) қабаттар әдеттегі бетондық қоспадан, ал екінші (ортанғы) қабат құрғақ бетондық қоспадан жасалады. Мұнымен жоғарғы және төменгі қабаттардың суцементтік қатынасының азауына қол жеткізуге болады және ортандық қабат үшін ең аз суцементтік қатынас қамтамасыз етіледі. Құрғақ бетон қоспасының жайлап ылғалмен қанығуы біртұтас монолитті құрастырылымның

түзілуіне алып келеді.

Арналар қаптамаларын ұш қабатты бетондаудың құрастырылымдық шешімдерінің параметрлерін зерттеу үшін синау обьектісі ретінде зертханалық жағдайда орындалған арнаның монолитті қаптамасының бөлшегі алынды. Бетондардың құрамын таңдау ГОСТ 27006-86 сәйкес жүргізілді.

Эксперименттерде доломит құмдағы ұсақтүйірлі қиыршық тасты пайдалана отырып, қарапайым ауыр бетон қолданылды. Бастапқы суцементтік қатынастар келесідей болды: бірінші және үшінші қабат - 0,5, ортаңғы қабат - 0. Құрғақ қоспаның сумен қаныгуы басқа екі қабаттың фильтрациясы есебінен өтеді.

Тәжірибелер сумен қанығу жоғарғы қабаттың қалыңдығы мен су мөлшеріне, салмаққа байланысты екендігін көрсетті. Ұлгілерге екі реттік виброөндеу жүргізілді. Біріншісі тікелей құрастырылымға бетон қоспасын төсеу кезінде, екіншісі 50...60 минуттан кейін қайталама вибронығызыдау ретінде қолданылды. Мұндай екі виброөндеудің бұйымның беріктігін арттыруға оң әсері болатыны белгілі. Қабаттардағы бетонның сығылуға беріктігі 28 тәуліктік мерзімде бұзбайтын әдіспен анықталды.

Нәтижелер бірінші қабат бетонының беріктігі 22,5%, ал үшінші қабаттың беріктігі 14,8% жоғарылағандығын көрсетті. Бұл осындағы құрастырылыммен салыстырғанда суцементтік қатынастың азауы арқасында болады, бірақ құрғақ бетон қоспалы қабатсыз. Бірдей шамадағы цемент шығынында, суцементтік қатынастың төмендеуі салдарынан екінші қабаттың сығылуға беріктігі бірінші және үшінші қабаттардан жоғары болды.

Суэткізбеушілік стандарттық әдістеме бойынша анықталды және қарапайым бетон қоспасынан жасалған бірқабатты құрастырылымдарға қарағанда, қабылданған құрастырылымдық бетондарда жоғары болды. Бетонда технологиясы бетон қоспасын беруші үшбункерлі сырғымалы қалыптен жүзеге асырылады. Шет жағында орналаскан екі бункер қарапайым бетон қоспасын беруге, ал ортаңғысы құрғақ бетон қоспасын беруге арналған.

Бетон қоспаларын вибронығызыдау екі виброжақтаумен орындалады. Виброжақтаулар бір-бірінен 2 м қашықтықта орналасады және бетон қоспасының бірінші және екінші нығыздалуын қамтамасыз өтеді.

Қалыптың барлық технологиялық бөлігі қозғалмалы металл рамада орнатылады.

Жүргізілген зерттеулердің негізінде келесідей қорытындылар жасауга болады:

1. Ушқабатты құрастырылымды арна қаптамаларын қолдану арналардың қорғанысын қамтамасыз өтеді және имараттарды салу мен пайдалану кезіндегі шығындарды төмendetеді.

2. Құрастырылымның ортаңғы қабатында құрғақ бетон қоспасын қолдану арқылы басқа қабаттардың суцементтік қатынасын төмendetуге қол жеткізіледі. Бұл бүкіл құрастырылымның беріктігі мен суэткізбеушілігінің жоғарылауына әкеледі.

3. Тәжірибелер қайталама вибронығызыдауды қолдану және қосымша салмақ түсіру арқылы құрастырылым бетонының беріктігі мен суэткізбеушілігі арттындығын көрсетеді.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Байтасов К. Технология облицовки каналов из мелкозернистого монолитного бетона / К. Байтасов, У.Б. Абдикерова, Р.О. Каршыгаев. - Вестник КазГАСА. – 2017. - № 1. - с.117.
2. Миронов С.А. Основы технологии бетона в условиях сухого жаркого климата / С.А. Миронов, Е.И. Малинский. - М.: Стройиздат, 1985. - с. 27-34.
3. Волженский А.В. Эффективность применения известкового портландцемента / А.В. Волженский, Ю.Д. Чистов, Т.А. Карпова и др. // Бетон и железобетон, 1988. – № 5. – С. 28–29.

Получено 18.04.2018

УДК 311.41

**Ш.К. Абикенова, Н.Б. Абдрахманова**

РГКП «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан», г. Астана

**ОПТИМИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОМУ ТРАВМАТИЗМУ  
В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН**

*В данной статье приведены сведения о государственных статистических отчетностях по производственному травматизму ряда стран, таких как Республика Казахстан, Российская Федерация, Республика Беларусь, Республика Армения и Кыргызская Республика. Также проведен сравнительный анализ форм статистических отчетов этих стран, который показал, что по некоторым позициям имеются различия.*

*Осы мақалада Қазақстан Республикасы, Ресей Федерациясы, Беларусь Республикасы, Армения Республикасы және Қыргыз Республикасы сияқты бірқатар елдердің өндірістік жарақаттану бойынша мемлекеттік статистикалық есептіліктері туралы мәліметтер көлтірілген. Сондай-ақ осы елдердің статистикалық есеп нысандарына салыстырмалы талдау жүргізілді және кейір үстанимдар бойынша айырмашылықтар бар екені көрсетілді.*

*This article provides information on state statistical reports on industrial injuries in a number of countries, such as the Republic of Kazakhstan, the Russian Federation, the Republic of Belarus, the Republic of Armenia and the Kyrgyz Republic. Also a comparative analysis of the forms of statistical reports of these countries was carried out, which showed that there are differences in some positions.*

**Ключевые слова:** производственный травматизм, отчетность, охрана труда, статистические формы.

Необходимость использования достоверной статистической информации в современном обществе существенно и систематически возрастает с учетом значимости эффективного управления и принятия решений. На основании статистических данных строятся прогнозы, делаются выводы и определяются тенденции. Решение важных задач статистического учета и систематизации данных отвечает запросам цифровизации экономических и производственных процессов, обозначенных в программе «Цифровой Казахстан»[1]. В данной статье рассматривается проблема использования статистической информации при анализе производственного травматизма как основного показателя, характеризующего условия и охрану труда на предприятиях.

В Республике Казахстан основная статистическая информация по производственному травматизму формируется согласно форме № 7-ТПЗ, утвержденной приказом председателя комитета по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан № 51 от 14 ноября 2014 года. Основанием заполнения данной формы является акт о несчастном случае, связанный с трудовой деятельностью, отчет о травматизме, связанном с трудовой деятельностью, и профессиональных заболеваниях [2]. Данная государственная статистическая отчетность представляется ежегодно до 25 февраля после отчетного периода за подписью руководителя предприятия [3].

В статистическую форму включаются данные о несчастных случаях, произошедших на производстве с рабочими, служащими, учащимися и студентами при прохождении практики или выполнении работы на предприятиях, учреждениях, организациях всех форм собственности. При этом учету подлежат все травмы, профессиональные заболевания, отравления и иные отрицательные воздействия на здоровье, полученные в процессе исполнения трудовых обязанностей, по которым производилось расследование в текущем году.

Раздел статистической формы отчетности содержит информацию и следующие сведения:

- фактическое месторасположение юридического лица (подразделения), также наиме-

нование и код согласно номенклатуре видов экономической деятельности (код по ОКЭД) юридического лица [4];

- номер и дата акта несчастного случая (профзаболевания, отравления);
- пол и возраст пострадавшего на момент получения травмы;
- статус пострадавшего из классификатора занятий [5];
- была ли работа сменной, с указанием смены, в которой произошел несчастный случай;
- физическое состояние больного в момент несчастного случая по заключению судебно-медицинской экспертизы (алкогольное и наркотическое опьянение, психическое расстройство);
- вид травмы;
- пострадавшая часть тела;
- вид профессионального заболевания;
- вид происшествия;
- перечень причин несчастного случая;
- степень тяжести травмы пострадавшего;
- число календарных и рабочих дней потери трудоспособности;
- материальные последствия несчастного случая (выплаты по листку нетрудоспособности и единовременные пособия).

Статистическая отчетность предоставляется на бумажном носителе или в электронном формате посредством использования программного обеспечения, размещенного на интернет-ресурсе комитета по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан, который является государственным уполномоченным органом в области государственной статистики.

Вместе с тем комитет труда, социальной защиты и миграции Министерства труда и социальной защиты населения РК как государственный уполномоченный орган по труду, формирующий статистическую информацию о производственном травматизме, в целях оперативного сбора информации о производственном травматизме осуществляет сбор данных согласно утвержденному приказу Министерства труда и социальной защиты РК от 30.11.2015 г. № 904 «Об утверждении форм актов государственных инспекторов труда» форме [6].

При этом анализ статистических данных из двух, указанных выше источников официальной статистической информации, показал наличие расхождений в них. Например, по итогам 2016 года по информации комитета по статистике Министерства национальной экономики РК количество пострадавших на производстве составило 1815 чел., количество погибших на производстве - 225 чел. Вместе с тем по информации комитета по труду Министерства труда и социальной защиты населения РК количество пострадавших на производстве составило 1683 чел., количество погибших на производстве - 248 чел. [7]. Тем самым считаем, что подобные различия в статистических данных не стоит относить к погрешностям подсчета, видя причину в сокрытии данных и неполноте представляемой информации. Расхождение в данных приводит к искажению текущей ситуации по производственному травматизму. В целом применение действующих методик сбора статистической отчетности и анализа информации не достаточно объективно отражает ситуацию в области безопасности и охраны труда.

В этой связи с учетом экономической интеграции интересен опыт обработки аналогичной статистической информации в странах Евразийского экономического союза, таких как Российская Федерация, Республика Беларусь, Республика Армения, Кыргызская Республика.

В Российской Федерации государственная статистическая отчетность о производственном травматизме включает утвержденные формы государственного статистического

наблюдения «Сведения о травматизме на производстве и профессиональных заболеваниях» (форма 7-травматизм), «Сведения о распределении числа пострадавших при несчастных случаях на производстве по основным видам происшествий и причинам несчастных случаев» (приложение к форме 7-травматизм) [8]. Сбор и обработка статистической информации осуществляется Росстатом России.

Отметим, что в Российской Федерации статистическими формами отчетности охвачены юридические лица всех форм собственности, кроме микропредприятий, осуществляющие все виды экономической деятельности, кроме финансовой деятельности, обеспечения военной безопасности, социального страхования, образования, деятельности домашних хозяйств. Существенным отличием применяемых в Российской Федерации форм статистической отчетности является комплексность собираемых данных в целом по всем случаям травматизма, которые имели место на предприятии в отчетном периоде.

Так, в указанной форме статистической отчетности № 7-травматизм отражаются сведения о:

- численности пострадавших с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более, включая пострадавших со смертельным исходом, в том числе в разрезе пострадавших женщин, лиц в возрасте до 18 лет и иностранных граждан;

- численности пострадавших, смерть которых наступила в отчетном году, независимо от времени происшествия несчастного случая, в том числе пострадавших женщин, лиц в возрасте до 18 лет и иностранных граждан;

- число рабочих человеко-дней нетрудоспособности у пострадавших с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более, временная нетрудоспособность которых закончилась в отчетном году;

- численности пострадавших, частично утративших трудоспособность и переведенных с основной работы на другую на 1 рабочий день и более в соответствии с медицинским заключением, в том числе женщин, частично утративших трудоспособность;

- численности лиц с впервые установленным профессиональным заболеванием в отчетном году;

- затраты на мероприятия по охране труда, в том числе затраты на улучшение условий и охраны труда на производстве, за счет всех источников финансирования;

- средняя численность работников, состоящая из работников списочного состава и совместителей, в том числе работающих женщин, состоящая из работников списочного состава и внешних совместителей (без женщин, находящихся в отпуске по беременности и родам и дополнительном отпуске по уходу за ребенком).

Отсюда следует, что статистическая отчетность позволяет провести анализ производственного травматизма по иностранным гражданам, также оценить затраты на охрану труда.

Вместе с тем, наряду с отчетной формой № 7-травматизм, 1 раз в 3 года юридические лица предоставляют приложение к годовой статистической форме № 7-травматизм, в котором указываются распределение пострадавших по основным видам происшествий, приведших к несчастному случаю на производстве, и распределение пострадавших по причинам несчастных случаев.

Аналогично в Республике Беларусь государственная статистическая отчетность, предоставляемая по форме 1-т (травматизм) «Отчет о численности потерпевших при несчастных случаях на производстве», также содержит общие данные по травматизму. Данную форму представляют юридические лица, их обособленные подразделения, имеющие отдельный баланс (до 15 января) [9].

В отчете о численности потерпевших при несчастных случаях на производстве отражаются следующие данные:

- о численности потерпевших при несчастных случаях на производстве с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более, включая потерпевших со смертельным исходом, из них: а) женщины; б) лица в возрасте до 18 лет, в том числе: о потерпевшие, находящиеся в состоянии алкогольного, наркотического или токсического опьянения;

- о численности потерпевших со смертельным исходом, смерть которых наступила в отчетном году, независимо от времени происшествия несчастного случая, из них: а) женщины; б) лица в возрасте до 18 лет, в том числе потерпевшие, находящиеся в состоянии алкогольного, наркотического или токсического опьянения;

- о количестве дней нетрудоспособности потерпевших, приходящихся на рабочие дни, а также дней нетрудоспособности лиц, временная нетрудоспособность которых продлилась с конца предыдущего года и была оформлена одним листком нетрудоспособности, в том числе в разрезе пострадавших женщин и лиц в возрасте до 18 лет.

Отметим, что данные статистической отчетности не позволяют провести экономический анализ производственного травматизма.

Статистическая отчетность предоставляется на бумажном носителе или в виде электронного документа с использованием специализированного программного обеспечения на официальном сайте Национального статистического комитета Республики Беларусь.

В Кыргызской Республике государственная статистическая отчетность предоставляется по форме № 7-ТВН «О травматизме на производстве, профессиональных заболеваниях и материальных затратах, связанных с ними» ежегодно (15 января после отчетного периода) [10].

В форме №7-ТВН отражаются следующие сведения:

- численность пострадавших с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более, из них женщин;

- численность пострадавших со смертельным исходом, из них женщин;

- число человеко-дней неявок по временной нетрудоспособности, связанных с травматизмом, из них по случаям происшествий в отчетном году;

- численность пострадавших при несчастных случаях с частичной утратой трудоспособности и переведенных, в соответствии с медицинским заключением на другую работу на один рабочий день и более, из них женщины;

- численность лиц с впервые установленным профессиональным заболеванием;

- затраты на мероприятия по охране труда;

- затраты на выплаты сумм возмещения вреда в связи с трудовымувечьем и профзаболеванием, из них:

а) по временной нетрудоспособности;

б) с указанием возмещенного утраченного заработка;

в) расходы по медицинской, социальной и профессиональной реабилитации;

- стоимость испорченного оборудования, инструментов, разрушенных зданий, сооружений в результате несчастного случая.

Статистическая отчетность в Кыргызской Республике предоставляется только на бумажном носителе по почтовой связи.

В Республике Армении основной формой отчета по производственному травматизму является форма государственной статистической отчетности 7-твн, утвержденная решением Государственного статистического совета от 12 августа 2002 г. №1 70-Н. Отчет о профессиональной заболеваемости представляется по форме 7 (профессиональная заболеваемость) [11].

Ежегодно до 25 января юридическими лицами, предприятиями, частными предпринимателями отчет по форме 7-твн по производственному травматизму высыпается территориальным органам статистической службы, которые подводят итоги представляемых отчетов и до

15 февраля высылают в статистическую службу Армении, куда также высылается отчет по форме 7 по профзаболеваниям медицинским социальным экспертным агентствам.

Сравнительный анализ форм статистической отчетности стран ЕАЭС показал, что формы статистической отчетности о травматизме, связанном с трудовой деятельностью, и профессиональных заболеваниях имеют некоторые различия. Важной отличительной особенностью статистических форм, применяемых в Российской Федерации, Республике Армении, Киргизской Республике, является предоставление комплексной статистической информации по всем случаям травматизма с охватом всех юридических лиц всех форм собственности.

Тем самым, проанализировав и оценив статистические отчетности представленных стран ЕАЭС, можно предложить также проводить анализ экономических потерь предприятия в связи с несчастными случаями на производстве, в том числе и косвенного характера, дать оценку последствиям несчастного случая на производстве в виде компенсационных выплат.

Таким образом, в целях дальнейшего совершенствования и улучшения качества государственных статистических наблюдений в области безопасности и охраны труда, в частности производственного травматизма, и получения полной и всесторонней статистической информации предлагается:

- 1) предоставлять отчеты в целом по предприятию;
- 2) включить в формы дополнительную информацию:
  - а) о затратах на мероприятия по охране труда, в том числе затраты на улучшение условий и охраны труда на производстве;
  - б) о затратах на выплаты сумм возмещения вреда в связи с трудовымувечьем и профзаболеванием, среди которых:
    - возмещение утраченного заработка;
    - расходы по медицинской, социальной и профессиональной реабилитации.

Данные дополнения и изменения позволяют усовершенствовать систему статистической отчетности, оптимизировать порядок предоставления достоверных данных, тем самым улучшить качество и облегчить обработку информации.

#### Список литературы

1. Государственная программа «Цифровой Казахстан».
2. Приложение 7 к приказу Председателя Комитета по статистике от 14 ноября 2014 года № 51 «Отчет о травматизме, связанном с трудовой деятельностью, и профессиональных заболеваниях».
3. Инструкция по заполнению статистической формы общегосударственного статистического наблюдения «Отчет о травматизме, связанном с трудовой деятельностью, и профессиональных заболеваниях» (код 1381104, индекс 7-ТПЗ, периодичность годовая).
4. Номенклатура видов экономической деятельности (окэд 5-значный); Утверждена приказом председателя Агентства Республики Казахстан по статистике от 20 мая 2008 г. № 67.
5. Классификатор занятий, утвержденный приказом Комитета технического регулирования и метрологии Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 11 мая 2017 года № 130-од.
6. Приказ Министерства труда и социального развития РК от 30.11.2015 г. № 904 «Об утверждении форм актов государственных инспекторов труда».
7. Информационный бюллетень о результатах деятельности Комитета по контролю, социальной защите и миграции по итогам 2006-2015 гг.
8. Приказ Росстата от 21 июля 2016 года № 355 «Об утверждении статистического инструментария для организации Министерством здравоохранения Российской Федерации федерального статистического наблюдения в сфере охраны здоровья».
9. Постановление национального статистического комитета Республики Беларусь 13 июня 2016 года № 64 форма государственной статистической отчетности 1-т (травматизм) «Отчет о численности потерпевших при несчастных случаях на производстве».

10. Постановление Нацстаткома Кыргызской Республики от 7 июня 2016 года № 10 форма № 7-ТВН «О травматизме на производстве, профессиональных заболеваниях и материальных затратах, связанных с ними».
11. Форма государственной статистической отчетности 7-твн, утвержденная решением Государственного статистического совета от 12 августа 2002 г. № 170-Н.

Получено 18.04.2018

---

---

УДК 331.103.15

**Ш.К. Абикенова, Г.Т. Айткенова, Д.Б. Муканова**

РГКП «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства здравоохранения и социального развития Республики Казахстан», г. Астана

**ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ ГАРАНТИЙ РАБОТНИКАМ, ЗАНЯТЫМ ВО ВРЕДНЫХ И (ИЛИ) ОПАСНЫХ УСЛОВИЯХ ТРУДА, НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА НА ПРИМЕРЕ ГОРНОРУДНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*В данной статье приведены расчеты по предоставлению объема гарантий работникам, занятых на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными условиями труда, в зависимости от степени профессионального риска по новой методике. Проведен анализ эффективности внедрения предлагаемой методики в сравнении с действующим механизмом и списочным подходом в предоставлении гарантий работникам горнорудного предприятия. Применение предлагаемой методики имеет положительный эффект в регулировании трудовых отношений и рекомендуется к использованию на отечественных предприятиях.*

*Бұл мақалада көсілтік тәуекел дөрежесіне байланысты зиянды және қауіпті жағдайлардағы, ауыр жұмыстарда жұмыс істейтін жұмыскерлерге кепілдіктер түрлерін және мәшшерін белгілеудің жаңа әдістемесі бойынша есептері көрсетілген. Тау-көн көсілорның жұмыскерлеріне кепілдіктер берудегі қолданыстағы механизммен және тізімдік тәсілмен ұсынылып отырылан әдісті салыстыру арқылы оны енгізуіндегі тиімділігіне талдау жасалды. Ұсынылған әдісті қолдану өнбек қатынастарын реттеуде оң нәтижеге ие және отандық көсілорындарда пайдалану ұсынылады.*

*In this article are presented calculations of the providing of types and scope of guarantees for workers engaged in heavy work, work with harmful and (or) dangerous working conditions, depending on the degree of professional risk, according to a new methodology. Analysis of the effectiveness of the implementation of the proposed methodology is carried out in comparison with the current mechanism and the list approach in providing guarantees to employees of the mining enterprise. The application of the proposed methodology has a positive effect in the regulation of labor relations and recommended for use in domestic enterprises.*

**Ключевые слова:** работники, занятые на тяжелых работах, работах с вредными и опасными условиями труда, гарантии и компенсации работникам, дополнительный ежегодный оплачиваемый отпуск, повышенный размер оплаты труда, сокращенная продолжительность рабочего времени, оценка профессионального риска, степень профессионального риска.

Реализация поручений главы государства по созданию безопасных условий труда на третьем этапе модернизации предполагает переход к внедрению системы управления профессиональными рисками. Новая система направлена на предупреждение профессиональных рисков, повышение ответственности работодателей за создание безопасных условий труда, снижение уровня производственного травматизма и профессиональных заболеваний [1].

Действующим законодательством Республики Казахстан установлено, что работодатель должен создать безопасные условия труда. В противном случае, согласно статьям 83-89, 260, 261, 263 Кодекса Республики Казахстан об административных правонарушениях, в случае несоблюдения должностными лицами всех требований по обеспечению

безопасных условий труда применяется наказание в виде штрафа [2].

Трудовым Кодексом Республике Казахстан работникам, занятym во вредных условиях труда, предусмотрено предоставление гарантii в виде повышенного размера оплаты труда (*ст. 105*); дополнительного оплачиваемого ежегодного трудового отпуска (*п. 1, ст. 89*); сокращенной продолжительности рабочего времени не более 36 часов в неделю (*п. 2, ст. 67*) [3].

Основанием предоставления гарантii является утвержденный уполномоченным государственным органом по труду список производств, цехов, профессий и должностей, перечня тяжелых работ, работ с вредными и (или) опасными условиями труда, работы в которых дает право на сокращенную продолжительность рабочего времени, дополнительный оплачиваемый ежегодный трудовой отпуск и повышенный размер оплаты труда, а также правила их предоставления (далее - список) [4]. При этом наличие вредных условий труда должно быть подтверждено результатами аттестации производственных объектов по условиям труда.

Для установления связи между результатами аттестации объемом предоставления вышеуказанных гарантii в рамках научных исследований, посвященных вопросам внедрения системы управления профессиональными рисками в Республике Казахстан, была разработана методика установления вида и объема гарантii работникам, занятym на тяжелых работах, работах с вредными и опасными условиями труда, в зависимости от степени профессионального риска (далее – методика). Данная методика в виде научного произведения прошла государственную регистрацию прав интеллектуальной собственности № 2258 от 03.10.2017 года.

Методика предлагает определить объем гарантii в зависимости от степени профессионального риска, который является комплексной числовой характеристикой вредности и опасности производственной среды и трудового процесса, риска заболеваемости, безопасности производственного оборудования и обеспечения средствами индивидуальной защиты. Методика расчета индивидуального показателя степени профессионального риска также разработана институтом (№ 2259 от 03.10.2017 года).

Согласно предлагаемой методике, работнику, профессия которого и (или) профессиональная группа относится:

- к 1-й степени риска (*допустимый риск*), вышеуказанные гарантii не устанавливаются;
- ко 2-й степени риска (*низкий риск*), устанавливаются дополнительный отпуск не менее 6 календарных дней и доплата к окладу не менее 4%;
- к 3-й степени риска (*средний риск*), устанавливаются дополнительный отпуск не менее 12 календарных дней и доплата к окладу не менее 8%;
- к 4-й степени (*высокий риск*), устанавливаются дополнительный отпуск не менее 18 календарных дней, сокращенная продолжительность рабочего времени не более 36 часов и доплата к окладу не менее 12%;
- к 5-й степени риска (*очень высокий риск*), устанавливаются дополнительный отпуск не менее 36 календарных дней, сокращенная продолжительность рабочего времени не более 36 часов и доплата к окладу не менее 16%.

Предлагаемые подходы к установлению гарантii в виде повышенного размера оплаты труда, дополнительного оплачиваемого ежегодного трудового отпуска, сокращенной продолжительности рабочего времени и определение их объема были апробированы в 2017 году на примере 6 предприятий.

В данной статье представлены результаты апробации методики и соответствующие работы на примере одного из предприятий, основным видом деятельности которого является добыча руд и песков драгоценных металлов (золота, серебра и металлов платиновой группы - 07298 по общему классификатору экономической деятельности).

По статистическим данным за 2016 год (*отчет 1-Т*), на предприятии было занято 340

человек, при этом занятых во вредных и (или) опасных условиях труда не установлено. Однако результатами аттестации производственных объектов по условиям труда установлены вредные условия труда.

К основным профессиям производственного характера относятся: горный мастер подземный, горный диспетчер, начальник карьера, начальник участка буровзрывных работ, машинист буровой установки подземный, машинист вентиляционной установки, доставщик крепежных материалов в шахту, горнорабочий, машинист, геолог, гидрогеолог, маркшейдер. Анализ предоставления гарантий работникам основных и вспомогательных подразделений горнорудного предприятия осуществлен по 81 профессиям.

В целях определения эффективности внедрения разработанной методики проведен сравнительный анализ предоставления гарантии в разрезе подразделений с трех позиций:

- а) на основе результатов оценки профессиональных рисков;
- б) в соответствии с требованиями действующего законодательства Республики Казахстан, т.е. на основании результатов аттестации производственных объектов в объеме согласно списка;
- в) согласно применяемого на предприятии подхода.

В основных производственных подразделениях на предприятии заняты 40 профессий, из которых фактически было установлено 10 дней дополнительного отпуска для 7 профессий и 4% повышенного размера оплаты труда для 6 профессий.

По списку право на дополнительный отпуск до 18 дней имеют 12 профессий; до 24 дней – 7 профессий, из которых 3 положена сокращенная продолжительность рабочего времени не более 36 часов; до 30 дней – 21 профессия, из которых 5 профессиям положена сокращенная продолжительность рабочего времени не более 36 часов.

Для обоснованного предоставления гарантии по разработанной методике было определено, что работникам 11 профессий (главный геолог, главный маркшейдер, ведущий геодезист и т.д.) вышеуказанные гарантии не устанавливаются, так как профессии работников относятся к 1-й степени риска (*допустимый риск*). У работников 26 профессий (горный мастер подземный, механик самоходного оборудования, горнорабочий участка буровзрывных работ и т.д.) по результатам оценки профессионального риска выявлен низкий риск условий труда, в этой связи работникам данной категории полагаются не менее 6 календарных дней дополнительного оплачиваемого ежегодного трудового отпуска и повышенный размер оплаты труда в размере не менее 4%. Остальные 3 профессии отнесены к среднему риску (*3-я степень*), в частности машинист буровой установки подземный, помощник машиниста буровой установки подземный, машинист буровой установки подземный. Это требует предоставления дополнительного отпуска не менее 12 календарных дней и повышенного размера оплаты труда не менее 8%.

Во *вспомогательных подразделениях* предприятия заняты работники 41 профессии, из которых фактически работникам 4 профессий предоставлен дополнительный отпуск в количестве 10 дней и 4% повышенного размера оплаты труда. При этом, согласно списку, право на дополнительный отпуск до 18 дней имеют работники 9 профессий; до 24 дней – 27 профессий, из которых 22 профессиям полагается сокращенная продолжительность рабочего времени 36 часов; до 30 дней – 5 профессий, из которых 3 профессиям полагается сокращенная продолжительность рабочего времени 36 часов.

По предлагаемой методике работники 12 профессий вспомогательных подразделений отнесены к допустимому риску (*1-я степень*), и данной категории работников не полага-

ются какие-либо виды гарантий. По результатам оценки профессионального риска работники 28 профессий отнесены к низкой степени риска (*2-я степень*). В соответствии с предложенной методикой, работникам полагается не менее 6 календарных дней дополнительного оплачиваемого ежегодного трудового отпуска и повышенный размер оплаты труда в размере не менее 4%. Одна профессия, а именно электрогазосварщик подземный, относится к 3-й степени профессионального риска. Ему положено не менее 12 календарных дней дополнительного отпуска и 8% повышенного размера оплаты труда.

Сравнительный анализ предоставления работникам предприятия дополнительного ежегодного трудового оплачиваемого отпуска по действующему механизму/списку/предлагаемой методике в разрезе двух подразделений представлен на рис. 1.

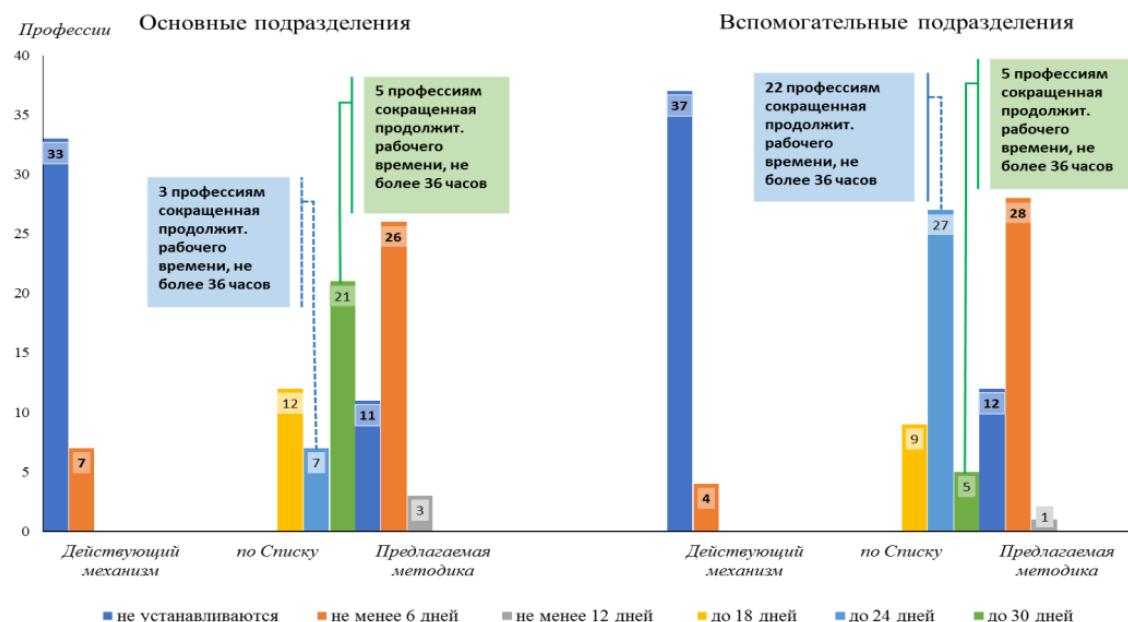


Рисунок 1 - Сравнительный анализ предоставления работникам дополнительного ежегодного трудового оплачиваемого отпуска

Сравнительный анализ предоставления работникам предприятия повышенного размера оплаты труда по действующему механизму/списку/предлагаемой методике в разрезе двух подразделений представлен на рис. 2.

Таким образом, были проанализированы данные по оценке профессиональных рисков за 2016 год и согласно методике:

- для 23 профессий (30%) 1-й степени риска не полагаются гарантии;
- для 54 профессий (65%) 2-й степени риска полагаются гарантии дополнительного ежегодного трудового оплачиваемого отпуска не менее 6 календарных дней и повышенного размера оплаты труда не менее 4%;
- 4 профессий (5%) 3-й степени риска полагаются гарантии дополнительного ежегодного трудового оплачиваемого отпуска не менее 12 календарных дней и повышенного размера оплаты труда не менее 8%.

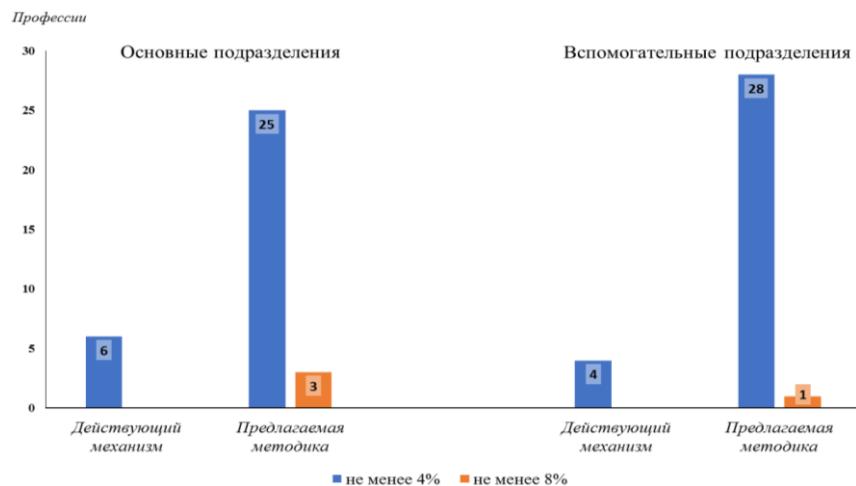


Рисунок 2 - Сравнительный анализ предоставления повышенного размера оплаты труда

Таким образом, по анализу эффективности предлагаемой методики было выявлено, что в исследуемом предприятии гарантии работникам, занятым подземными работами, предоставляются не в полном объеме. Так, в соответствии со списком все профессии данной отрасли должны получать как дополнительный отпуск, так и сокращенную продолжительность рабочего времени. По предложеному механизму предоставления гарантий перечень профессий в сравнении со списком сократился, гарантии рекомендуется предоставлять лишь тем профессиям, у которых в ходе оценки были обнаружены риски.

В целом использование всей системы оценки профессиональных рисков и методики предоставления гарантии являются комплексной мерой в системе управления охраной труда на предприятии. Оценка позволяет выявить основные риски на рабочих местах, а методика позволяет установить гарантии индивидуально по профессиям, в независимости, есть ли перечень данных профессий в списке.

Учитывая вредные и опасные производственные факторы вида экономической деятельности, которыми занимается выбранное предприятие, и расчет оценки профессиональных рисков, предприятие в целом относится к среднему риску (*3-я степень риска*). В целях устранения рисков на производстве или снижения данного показателя (*в случае невозможности устранения рисков свести риск к возможному минимуму*) необходимо индивидуально для каждой профессии разработать план мероприятий.

Специально разработанные мероприятия для устранения рисков на конкретном предприятии позволят значительно сократить материальные расходы и приведут к значительной экономии. Материальные средства, сэкономленные в результате мероприятий снижения рисков, предприятие может направить на улучшение условий труда, снабжение рабочих мест модернизированным оборудованием, автоматизацию трудового процесса и т.д.

Преимущества предлагаемого подхода заключаются в использовании более полного основания для дифференциации гарантий этим работникам не только с учетом состояния условий труда, но и состояния здоровья работников. Методика определяет взаимосвязь между установлением гарантий работникам и оценкой профессиональных рисков.

Применение методики в регулировании трудовых отношений позволит:

- *работодателю*: стимулировать совершенствование производственных технологий посредством замены опасного оборудования и технологий на более безопасные, использовать современные средства индивидуальной защиты; уменьшить численность работни-

ков, занятых во вредных условиях труда, сократить огромные затраты на предоставление ежегодного трудового отпуска, повышенной оплаты;

- *работнику*: предупредить возникновение профессиональных заболеваний и производственных травм за счет усиления защитных гарантий в зависимости от степени риска; получать информацию о фактических рисках для трудоспособности; реализовать право на безопасные условия труда.

#### Список литературы

1. Послание Президента РК от 31 января 2017 года «Третья модернизация Казахстана: глобальная конкурентоспособность».
2. Постановление Правительства РК № 1475 от 30 сентября 2009 года «О проекте Кодекса Республики Казахстан об административных правонарушениях (новая редакция)».
3. Трудовой Кодекс РК от 23 ноября 2015 года № 414-V ЗРК.
4. Приказ МЗСР РК № 1053 от 28 декабря 2015 года.

Получено 18.04.2018

УДК 05.00.00

**Ш.К. Абикенова, А.Е. Танабаева, Д.Б. Муканова**

РГКП «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан», г. Астана

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В ОЦЕНКЕ РИСКОВ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

*В данной статье представлены результаты применения и внедрения новой методики оценки рисков заболеваемости, предлагаемой в рамках внедрения профессиональных рисков в Республике Казахстан. Научные результаты апробированы на примере предприятий, занятых на производстве по изготовлению строительных материалов. Применение методики позволяет выявлять группу работников с высоким риском заболеваемости для проведения лечебно-профилактических мер.*

*Осы мақалада Қазақстан Республикасында көсілтік тәуекелдердің бір бөлігі ретінде ұсынылатын аурудың қаупін бағалаудың жаңа әдіснамасын қолдану және қолданудың нәтижелері көлтірілген. Ғылыми нәтижелер күрьылыш мәтериалдары өндірісімен айналысатын көсіпорындар мысалында сынадады. Техниканы қолдану профилактикалық іс-шараларды жүргізу үшін аурушаңдық қаупі жоғары жұмысшылар тобын анықтауга мүмкіндік береді.*

*This article presents the results of the application and implementation of a new methodology for assessing the risk of morbidity, proposed as part of the introduction of occupational risks in the Republic of Kazakhstan. Scientific results are tested on the example of enterprises engaged in the production of building materials. Application of the technique allows to identify a group of workers with a high risk of morbidity for the conduct of preventive measures.*

**Ключевые слова:** профессиональный риск, оценка профессионального риска, здоровье работников, оценка риска заболеваемости.

В Республике Казахстан по официальным статистическим данным в 2016 году во вредных условиях труда было занято 368 тыс. человек [1], из которых численность работников, занятых в условиях неблагоприятного температурного режима, составляет более 60 тыс. человек, работников, занятых в работах под воздействием повышенной запыленности и загазованности воздуха рабочей зоны, превышающих предельно допустимый коэффициент, более 125 тыс. человек, работников, занятых в условиях повышенного уровня шума и вибрации, более 158 тыс. человек. На рис. 1 представлена подробная динамика численности работников, занятых во вредных условиях труда, в период 2011-2016 гг.

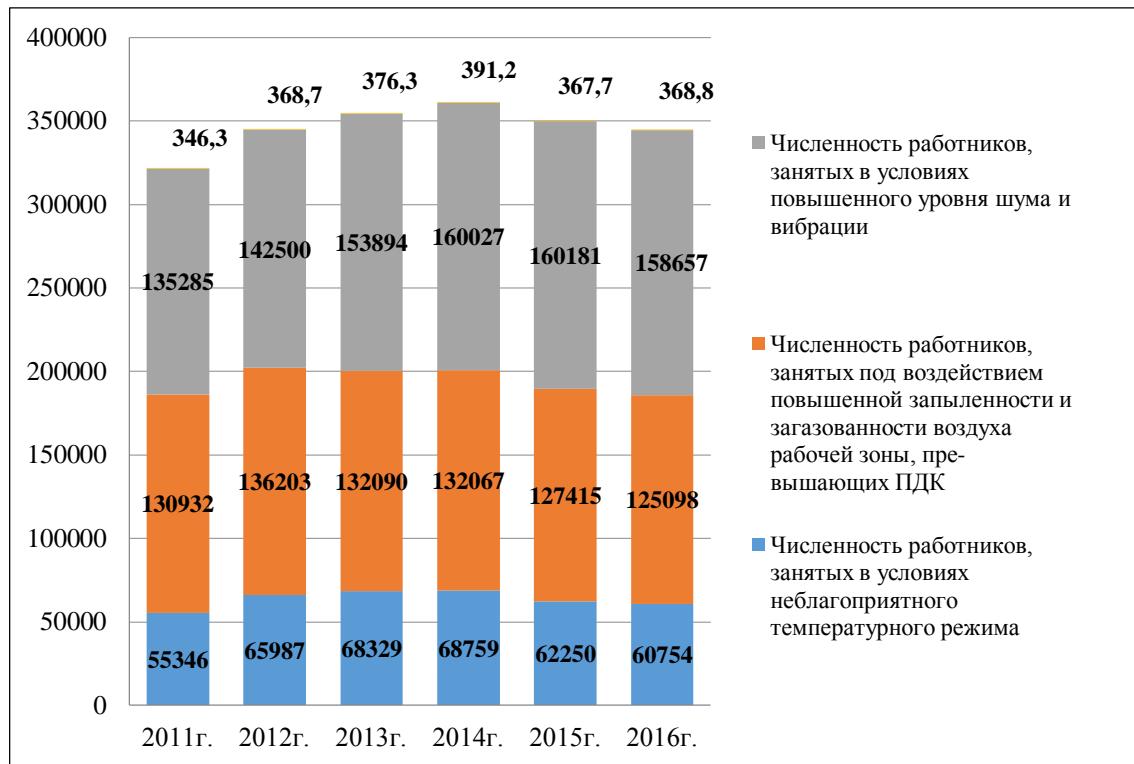


Рисунок 1 - Динамика численности работников, занятых во вредных условиях труда (2011-2016 гг.), тыс. чел.

Длительное воздействие вредных производственных факторов приводит к возникновениям у работников профессионально обусловленных заболеваний. В целях мониторинга за состоянием здоровья данной категории работников в Республике Казахстан действует система периодического медицинского осмотра.

Периодический медицинский осмотр проводится в соответствии с правилами проведения обязательных медицинских осмотров [2], по результатам которого формируются 6 групп:

- 1 группа - здоровые работники, не нуждающиеся в реабилитации;
- 2 группа - практически здоровые работники, имеющие нестойкие функциональные изменения различных органов и систем;
- 3 группа - работники, имеющие начальные формы общих заболеваний;
- 4 группа - работники, имеющие выраженные формы общих заболеваний, как являющиеся, так и не являющиеся противопоказанием для продолжения работы в профессии;
- 5 группа - работники, имеющие признаки воздействия на организм вредных производственных факторов;
- 6 группа - работники, имеющие признаки профессиональных заболеваний.

Оценка риска заболеваемости проводится для выявления профессий (профессиональных групп), характеризующихся наличием функциональных изменений в организме работников под воздействием вредных и/или опасных производственных факторов [3]. Оценка риска заболеваемости проводится на основании данных журнала регистрации листов нетрудоспособности работников по форме (рис. 2).

НАИМЕНОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ													
ЖУРНАЛ регистрации листов нетрудоспособности													
№ п/ п	ФИО	Наименование профессии	Наименование структурного подразделения	Вид деятельности	Вид временной нетрудоспособности* (Пр/З)	Период нетрудоспособности	Общее количество дней нетрудоспособности	Код болезни по МКБ-10	Наименование диагноза/заболевания	Пол	Возраст	Режим лечения	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

**Примечание:**  
 столбец 5: указывается А, если работник относится к административно-управленческому, Д, если к производственному, В, если к вспомогательному персоналу;  
 столбец 5: указывается Тр, если имеет место травма, З, если имеет место заболевание;  
 столбец 6: указывается период нетрудоспособности какого числа и по какое число включительно в формате дд/мм/гг;  
 столбец 13: указывается А, если амбулаторное лечение, С, стационарное лечение.

Рисунок 2 – Форма журнала регистрации листов нетрудоспособности

Журнал регистрации листов нетрудоспособности содержит следующие сведения: Ф.И.О., наименование профессии, наименование структурного подразделения, код рабочего места, пол, возраст, код болезни по МКБ10, наименование диагноза заболевания, вид временной нетрудоспособности (травма или заболевание), режим лечения (амбулаторно или стационарно), период и общее количество дней нетрудоспособности.

Оценка риска заболеваемости определяется согласно градации степени риска в зависимости от следующих критерии состояния здоровья (табл. 1):

- суммарная продолжительность временной утраты нетрудоспособности (суммирование всех дней нетрудоспособности);
- количество случаев острых респираторных вирусных инфекций в год (прямой подсчет имеющихся случаев заболевания с данным диагнозом);
- наличие хронических заболеваний.

Таблица 1  
*Градация степени риска заболеваемости на основе критериев состояния здоровья*

Степень риска	Критерии состояния здоровья		
	Суммарная продолжительность временной утраты нетрудоспособности	Количество случаев острых респираторных вирусных инфекций в год	Наличие хронических заболеваний
1	Не более 7 дней в год	Не более 1 раза в год	Нет
2	Не более 14 дней в год	Не более 2-х раз в год	Нет
3	Не более 21 дня в год	Не более 3-х раз в год	Есть
4	Более 21 дня в год	Более 3-х раз в год	Есть
5	При наличии зарегистрированных профессиональных заболеваний		

В случае, если работник в течение отчетного периода не имел листов нетрудоспособности, ему устанавливается 1 степень риска.

Все данные по заболеваемости заносятся в форму протокола оценки заболеваемости (рис. 3) с указанием соответствующей степени риска по работникам каждой профессии.

Оценка заболеваемости по работникам					
№ п/п	ФИО	Критерии оценки здоровья			Оценка риска заболеваемости и по работнику
		Суммарная продолжительность ВУТ*	Количество случаев ОРВИ	Наличие хронических заболеваний	

\*ВУТ - временная утрата трудоспособности, ОРВИ – острые респираторные вирусные инфекции

Рисунок 3 – Форма протокола оценки заболеваемости

Оценка заболеваемости ( $r_3^k$ ) (по k-профессии) рассчитывается как отношение суммарной оценки риска заболеваемости по каждому работнику, который относится к данной профессии, к общему количеству работников данной профессии по следующей формуле :

$$r_3^k = \frac{\text{суммарная оценка риска заболеваемости по работникам к профессии}}{\text{количество работников k-профессии}}.$$

Оценка риска заболеваемости была проведена для выявления профессий, наиболее подверженных заболеваниям, с определением их продолжительности по дням нетрудоспособности и установлением степени риска развития профессионально-обусловленных заболеваний [4, 5].

*Пример.*

По результатам оценки риска заболеваемости из 47 исследуемых профессий установлено, что в течение года зарегистрирована в реестре риска утраты трудоспособности по причине заболевания 21 профессия, которым установлена следующая степень риска:

- 1 степень риска для 5 профессий (24%);
- 2 степень риска для 14 профессий (66%);
- 3 степень риска для 1 профессии (5%);
- 4 степень риска для 1 профессии (5%);
- 5 степени риска нет.

Результаты оценки риска заболеваемости по профессиям административно-управленческого персонала представлены в табл. 2, при этом указаны только те профессии, по которым были зарегистрированы случаи заболеваемости.

Таблица 2

*Результаты оценки риска заболеваемости по профессиям административно-управленческого персонала*

№	Наименование профессии	Кол-во человек	Кол-во случаев заболевания в год	Степень риска из них:					Степень риска по проф.
				1 степень	2 степень	3 степень	4 степень	5 степень	
1	Бухгалтер	3	1		1				2
2	Коммерческий директор	1	1		1				2
Итого по подразделению									2

По всем указанным профессиям была установлена 2 степень риска заболеваемости, что обосновано одинаковыми условиями труда и характером выполняемой работы.

Результаты оценки риска заболеваемости по профессиям основного производственно-

го персонала представлены в табл. 3, при этом указаны только те профессии, по которым были зарегистрированы случаи заболеваемости.

**Таблица 3**  
**Результаты оценки риска заболеваемости по профессиям основного производственного персонала**

№	Наименование профессии	Кол-во человек	Кол-во случаев заболевания в год	Степень риска из них:					Степень риска
				1 степень	2 степень	3 степень	4 степень	5 степень	
<b>Подразделение № 1</b>									
1	Аппаратчик	3	2		1				2
2	Оператор технологической линии	3	3		1				2
<b>Подразделение № 2</b>									
1	Главный технолог	1	1			1			3
2	Мастер смены	4	1		1				2
3	Начальник производства	1	1		1				2
<b>Итого по подразделению</b>									2

По всем указанным профессиям была установлена 2 степень риска заболеваемости, что обусловлено длительностью дней нетрудоспособности по причине заболевания более чем 8 дней, что по критериям оценки заболевания ранжируется как 2 степень риска. Наиболее высокий риск отмечается по профессии «Главный технолог» в связи с длительностью дней нетрудоспособности (14 дней) с диагнозом «Эссенциальная [первичная] гипертензия».

Результаты оценки риска заболеваемости по профессиям вспомогательного производственного персонала представлены в табл. 4, при этом указаны только те профессии, по которым были зарегистрированы случаи заболеваемости.

Был зарегистрирован случай заболеваемости во всех четырех подразделениях, при этом по всем вышеуказанным профессиям по вспомогательному персоналу была установлена 2 степень риска заболеваемости. Наиболее высокий риск отмечается по профессии «Слесарь КИПиА» в связи с длительностью дней нетрудоспособности (61 день) на основании диагнозов «Простой раздражительный контактный дерматит», травмой (в лице нетрудоспособности указана как бытовая).

Таким образом, риск заболеваемости работников исследуемого предприятия по производству строительных материалов (за 2016 год) с установлением 2 степени риска оценивается как низкий.

Наиболее распространенные заболевания относятся к заболеваниям органов дыхания с диагнозами в виде острой инфекции верхних дыхательных путей, бронхита и т.п. Есть случай с диагнозом «Туберкулез легких» по профессии «Слесарь-ремонтник». Данный вид заболеваний напрямую связан с климатическими условиями труда производственной среды, подтверждает результаты аттестации производственных объектов, так как температура воздуха не соответствует установленной норме (с классом условий труда 3.1 вредный). Также имеются частые случаи травмирования, а именно за отчетный период зарегистрировано 6 случаев бытовой травмы, что можно оценивать как косвенную связь с производственным процессом ввиду высокой частоты случаев.

Таблица 4

*Результаты оценки риска заболеваемости по профессиям вспомогательного производственного персонала*

№	Наименование профессии	Кол-во человек	Кол-во случаев заболевания в год	Степень риска из них:					Степень риска
				1 степень	2 степень	3 степень	4 степень	5 степень	
<b>Подразделение № 1</b>									
1	Водитель автопогрузчика	5	2		1				2
2	Слесарь-ремонтник	4	4		1				2
3	Водитель битума	10	1	1					1
4	Водитель золовоза	2	1		1				2
<b>Подразделение № 2</b>									
1	Грузчик	3	2		1				2
2	Уборщик офиса	1	1		1				2
3	Кладовщик	1	1	1					1
<b>Подразделение № 3</b>									
1	Лаборант	3	1		1				2
<b>Подразделение № 4</b>									
1	Электрик	5	2		1				2
2	Машинист котельной, помощник	9	3	1					1
3	Слесарь КИПиА	1	1				1		4
<b>Итого по предприятию</b>									2

Методика оценки заболеваемости позволит анализировать эффективность используемых мероприятий по снижению профессиональных рисков, обеспечивать надлежащий уровень (достоверность) информации, накапливать необходимые знания (опыт) для принятия последующих решений при анализе и оценке рисков заболеваемости.

#### Список литературы

1. Комитет по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stat.gov.kz>.
2. Правила проведения обязательных медицинских осмотров. Приказ и.о. Министра национальной экономики Республики Казахстан от 24 февраля 2015 года № 128. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 8 апреля 2015 года № 10634.
3. Бисакаев С.Г. Методические рекомендации по внедрению системы управления профессиональными рисками на предприятии / С.Г. Бисакаев, Ш.К. Абикенова, Ж.Х. Есбенбетова. – Астана: РГКП «РНИИОТ МТСЗН РК», 2017. – 58 с.
4. Бисакаев С.Г. Методика расчета степени индивидуального профессионального риска / С.Г. Бисакаев, Ш.К. Абикенов, Ж.Х. Есбенбетова и др. – Астана, 2017.
5. Бисакаев С.Г. Методика расчета интегрального показателя степени профессионального риска на предприятии / С.Г. Бисакаев, Ш.К. Абикенов, Ж.Х. Есбенбетова и др. – Астана, 2017.

Получено 18.04.2018.

УДК 331.103.15

**Ш.К. Абикенова, Д.Б. Муканова, Г.Т. Айткенова**

РГКП «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства здравоохранения и социального развития Республики Казахстан», г. Астана

**НОВЫЙ ПОДХОД В ПРЕДОСТАВЛЕНИИ ГАРАНТИЙ РАБОТНИКАМ, ЗАНЯТЫМ ВО ВРЕДНЫХ (ТЯЖЕЛЫХ) УСЛОВИЯХ ТРУДА, НА ПРИМЕРЕ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*В статье рассматриваются проблемы предоставления гарантий и компенсаций работникам, занятых во вредных (тяжелых) условиях труда, на примере предприятия по переработке нефтепродуктов. Была предложена новая методика предоставления гарантий, согласно которой гарантии устанавливаются на основе оценки профессиональных рисков, которые учитывают фактические условия труда на рабочем месте. Социально-экономический эффект от реализации полученных результатов заключается в сохранении трудового потенциала Республики Казахстан.*

*Мақалада зиянды (ауыр) өнбек жағдайында жұмыс істейтін қызметкерлерге, мұнай өңдеу көсіпорнының мысалын пайдаланып, кепілдіктер мен өтемақылар беру мәселелері қарастырылады. Кепілдіктерді берудің жаңа әдісі ұсынылды, оған сәйкес жұмыс орнындағы накты өнбек жағдайларын есепке ала отырып, көсіби тәуекелдерді бағалау негізінде кепілдеме берілді. Алынған нәтижелерді іске асырудың әлеуметтік-экономикалық тиімділігі Қазақстан Республикасының өндек өлеуемтін сақтау болып табылады.*

*The article deals with the problems of providing guarantees and compensations to workers employed in harmful (hard) working conditions, using the example of an oil refining enterprise. A new method of providing guarantees was proposed, according to which guarantees are provided on the basis of an assessment of occupational risks that take into account actual working conditions in the workplace. The socio-economic effect from the realization of the results obtained is to preserve the labor potential of the Republic of Kazakhstan.*

**Ключевые слова:** работники, занятые на тяжелых работах, работах с вредными и опасными условиями труда, гарантии и компенсации работникам, дополнительный ежегодный оплачиваемый отпуск, повышенный размер оплаты труда, сокращенная продолжительность рабочего времени, оценка профессионального риска, степень профессионального риска.

Одним из главных приоритетов в трудовой деятельности является сохранение жизни и здоровья работника. Реализация поручений главы государства [1] по созданию безопасных условий труда на третьем этапе модернизации предполагает переход к внедрению системы управления производственными рисками. Новая система направлена на предупреждение профессиональных рисков, повышение ответственности работодателей за создание безопасных условий труда, снижение уровня производственного травматизма и профессиональных заболеваний.

В связи с этим ранее в рамках научных исследований была разработана методика установления вида и объема гарантий работникам, занятым на тяжелых работах, работах с вредными и опасными условиями труда, в зависимости от степени профессионального риска, согласно которой регулирование трудовых отношений в части предоставления гарантий работникам с учетом результатов оценки профессиональных рисков предполагает определение перечня профессий, рабочие места которых отнесены к степени риска выше допустимой, и установление по каждой из профессий соответствующей продолжительности дополнительного трудового отпуска, сокращенной продолжительности рабочего времени, повышенного размера оплаты труда.

Отметим, что работники, по результатам оценки профессионального риска относящиеся к 1-й степени риска, подвержены допустимому риску, в котором его величина минимальна. Поэтому работнику, профессия которого и (или) профессиональная группа относится к 1-й степени риска (допустимый риск), вышеуказанные гарантии не устанавливаются.

ются. Если по оценке профессиональных рисков рабочему месту установлена 2 степень риска, то гарантии для работников будут установлены в виде дополнительного отпуска не менее 6 календарных дней и не менее 4% повышенного размера оплаты труда, для профессии с 3 степенью риска - в виде трудового отпуска не менее 12 календарных дней и не менее 8% повышенного размера оплаты труда, для профессии с 4 степенью риска - в виде трудового отпуска не менее 18 календарных дней, не менее 12% повышенного размера оплаты труда и сокращенная продолжительность рабочего времени не более 36 часов, профессиям с 5 степенью риска - в виде 36 дней дополнительного отпуска, не менее 16% повышенного размера оплаты труда и не более 36 часов рабочей недели.

В целях определения эффективности внедрения разработанной методики был проведен сравнительный анализ с 3-х позиций предоставления гарантий в разрезе категорий персонала (административно-управленческий, основной и производственный персонал):

- 1) в соответствии с действующим механизмом на предприятии;
- 2) согласно списка производств и цехов, профессий и должностей, перечня тяжелых работ, работ с вредными и (или) опасными условиями труда, работа которых дает право на сокращенную продолжительность рабочего времени, дополнительный ежегодный оплачиваемый трудовой отпуск и повышенный размер оплаты труда, а также правил их предоставления (далее – список) [2];
- 3) в соответствии с предлагаемой методикой [3].

В качестве объекта внедрения выступило предприятие по переработке нефтепродуктов, образованное в 2005 году на территории Павлодарской области, которое является единственным предприятием в Казахстане по производству МТБЭ (метилтрет-бутилового эфира) и полипропилена.

В ходе анализа установлено, что профессионально-квалификационная структура данного предприятия состоит из 127 профессий, из которых 40 относятся к административно-управленческому подразделению, 22 - основное производство, 65 - вспомогательное производство.

В административно-управленческом подразделении заняты работники 40 профессий, которым фактически в 2016 году были установлены следующие виды гарантий:

- дополнительный оплачиваемый ежегодный трудовой отпуск не менее 6 дней работникам 13 профессий;
- повышенный размер оплаты труда не менее 4% работникам 12 профессий;
- повышенный размер оплаты труда не менее 8% работникам 2 профессий;
- повышенный размер оплаты труда не менее 12% работникам 2 профессий.

Однако отметим, что на основании списка дополнительный отпуск и сокращенная продолжительность рабочего времени данной категории профессий не полагаются. По результатам оценки профессионального риска согласно предложенной методике 35 профессиям, отнесенными к 1-й степени риска, какие-либо гарантии не предусмотрены.

Работникам 5 профессий полагается дополнительный оплачиваемый ежегодный трудовой отпуск (не менее 6 календарных дней) и повышенный размер оплаты труда (в размере не менее 4%).

Основное производственное подразделение включает в себя 22 профессии, которым в 2016 году фактически были предоставлены гарантии в следующем объеме:

- дополнительный отпуск не менее 6 дней предоставлялся 5 профессиям, не менее 12 дней – 13 профессиям;
- повышенный размер оплаты труда на предприятии в размере не менее 4% предоставлялся 2 профессиям;
- не менее 8% - 2 профессиям;

- не менее 12% - 5 профессиям;
- не менее 16% - 12 профессиям.

По списку дополнительный отпуск до 6 календарных дней установлен 4 профессиям, до 12 дней – 15 профессиям, сокращенная продолжительность рабочего времени 36 часов в неделю - 1 профессии: сливщика-разливщика, участка приема метанола, производства МТБЭ (метилтрибутилэфира).

По результатам оценки профессионального риска условия труда работников 4 профессий отнесены к 1-й степени риска (допустимый риск), в соответствии с чем им не полагаются какие-либо виды гарантий.

По результатам оценки профессионального риска условия труда 13 профессий основного производственного подразделения отнесены ко 2-й степени риска, в связи с чем они имеют право на дополнительный оплачиваемый ежегодный трудовой отпуск не менее 6 календарных дней и повышенный размер оплаты труда в размере не менее 4%.

В связи с установлением 5 профессиям уровня среднего риска (3 степень) для них положены дополнительный отпуск не менее 12 календарных дней и повышенный размер оплаты труда не менее 8%.

К вспомогательному персоналу относятся 65 профессий, которым фактически в 2016 году были представлены:

- доп. отпуск не менее 6 календарных дней - 39 профессиям;
- не менее 12 дней – 12 профессиям;
- повышенный размер оплаты труда в размере не менее 4% - 16 профессиям;
- не менее 8% - 19 профессиям;
- не менее 12% - 16 профессиям;
- не менее 16% - 3 профессиям.

В соответствии со списком до 6 календарных дней дополнительного отпуска положено 9 профессиям, до 12 дней – 11 профессиям. Сокращенная продолжительность рабочего времени профессиям данного подразделения не полагается.

Согласно методике, работникам 27 профессий, отнесённых к 1-й степени профессионального риска, не предусмотрены какие-либо гарантии.

Работникам 37 профессий вспомогательного подразделения установлена 2 степень профессионального риска и полагаются гарантии в виде дополнительного оплачиваемого ежегодного трудового отпуска не менее 6 календарных дней и повышенной оплаты труда в размере не менее 4%. Одна профессия вспомогательного блока (машинист компрессорных установок) подвержена среднему риску, в соответствии с чем ей полагается не менее 12 календарных дней дополнительного отпуска и 8% повышенного размера оплаты труда.

Работникам вспомогательного персонала сокращенная продолжительность рабочего времени не устанавливается. Результаты оценки профессиональных рисков по предприятию показаны в таблице.

В ходе проведения оценки какие-либо риски на некоторых рабочих местах не были обнаружены. Однако предоставление дополнительного отпуска, повышенного размера оплаты труда, сокращенной продолжительности рабочего времени на предприятии фактически были предоставлены в большем объеме, чем это предусмотрено нормативными требованиями.

В основном на предприятии предоставлялся дополнительный отпуск и повышенный размер оплаты труда тем профессиям, у которых были выявлены вполне благоприятные условия труда. Для наглядного сравнения действующего и предложенного методов по предоставлению гарантий был использован список производств, цехов, согласно которому также количество профессий, имеющих право на дополнительный отпуск, было меньше, чем фактически на предприятии.

*Сравнительный анализ предоставления гарантий по предприятию*

Гарантии		Количество профессий		
Вид	Объем	По методике РНИИОТ	Согласно НПА (список)	Фактически на предприятии
Дополнительный трудовой отпуск	6 дней	55	13	57
	12 дней	6	26	25
	итого	61	39	82
Сокращенная продолжительность рабочего времени	36 ч	-	1	-
Повышенный размер оплаты труда	4 %	55		30
	8%	6		23
	12%			23
	16%			15
	итого	61		91

Применение в рамках внедрения системы оценки профессиональных рисков и методики предоставления гарантий является комплексной мерой в системе управления охраной труда на предприятии и позволяет, выявляя основные риски на рабочих местах, с учетом ее результатов дифференцировано предоставить по профессиям, которые действительно находятся в зоне фактического риска, а не включены в список, защитные меры по сохранению трудоспособности работников в виде дополнительного отпуска, повышенного размера оплаты труда и сокращенной продолжительности рабочего времени.

Таким образом, эффективность предлагаемой методики подтверждается прозрачностью и простотой применения на практике, четкостью и конкретностью возникновения права на гарантии у работника, экономией финансовых средств, направляемых на гарантии, и возможностью ее целевого использования на улучшение условий труда.

Список литературы

1. План нации «100 конкретных шагов по реализации 5 институциональных реформ».
2. Список производств, цехов, профессий и должностей, перечня тяжелых работ, работ с вредными и (или) опасными условиями труда, работа в которых дает право на сокращенную продолжительность рабочего времени, дополнительный оплачиваемый ежегодный трудовой отпуск и повышенный размер оплаты труда, а также правила их предоставления.
3. Абикенова Ш.К. Установление видов и объема гарантий работникам, занятым на тяжелых работах, работах с вредными и опасными условиями труда, в зависимости от степени профессионального риска / Ш.К. Абикенова, Г.Т. Айткенова, Д.Б. Муканова Д.Б. и др. // Вестник ВКГТУ имени Д. Серикбаева, 2017. – С. 115 – 118.

Получено 18.04.2018

---



---

МРНТИ 53.37.35

**М.Э. Эділқанова**

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

**Г.А. Кокаева**

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИКИ И КИНЕТИКИ ВАКУУМНОЙ ВОЗГОНКИ СЕЛЕНА  
ИЗ ПРОМПРОДУКТОВ**

*В статье определены давления пара чистого селена, исследованы диаграммы парциальных давлений в зависимости от температуры и состава газа, изучены кинетические закономерности процесса вакуумной возгонки селена. Полученные данные позволяют определить условия технологического режима (температура, давление в системе) в зависимости от конечных целей: получение металла, оксида, хлорида и т.д.*

*Мақалада таза селениң бу қысымдары анықталған, газдың құрамы мен температураға байланысты парциалдық қысымның диаграммалары зерттелген, селениң вакуумды айдау үрдісінің кинетикалық заңдылықтары зерттелген. Алынған нәтижелер соңы мақсаттарға: металл, оксид, хлорид және т.б. алуға байланысты технологиялық режимнің жағдайын (температура, жүйедегі қысым) анықтауда мүмкіншілік береді.*

*The article defined vapor pressure of pure selenium; partial pressure diagrams were studied as a function of temperature and gas composition; kinetic regularities of the process of vacuum sublimation of selenium were studied. The data obtained made it possible to determine the conditions of the technological mode (temperature, pressure in the system) depending on the ultimate goals: the production of metal, oxide, chloride, etc.*

**Ключевые слова:** селен, вакуумная возгонка, парциальное давление, кинетика, энергия активации, давление пара.

Казахстан является одним из крупных производителей селена, но производит только технический селен, который почти на порядок дешевле марочного селена. Селен главным образом применяется в полупроводниковой технике, в стекольной промышленности, при вулканизации каучука и т.д. Для получения высокочистого селена используют селен технических марок. Технический селен содержит 1-2,5% примесей и непосредственно для полупроводникового производства не пригоден. Требования по содержанию примесей в высокочистом селене определяются областью его применения. Одним из наиболее перспективных методов получения селена повышенной чистоты является способ вакуумной возгонки.

В данной работе определены давления пара чистого селена, исследованы диаграммы парциальных давлений в зависимости от температуры и состава газа, изучены кинетические закономерности процесса вакуумной возгонки селена. При выборе оптимальных параметров рафинирования в вакууме большое значение имеет величина давления пара селена над расплавом технического селена. Рядом исследователей [1, 2] обобщены данные по определению давления насыщенного пара селена различными методами: с использованием диффузионных методик в сочетании с предполагаемым составом пара; массспектроскопическими, основанными на прямом определении состава пара.

В результате первых массспектроскопических исследований паров селена были зарегистрированы ионы  $Se_n^+$  ( $n = 1 \div 10$ ). Исследование испарения чистого селена производилось по Лэнгмюру и Кнудсену в интервале температур 420–1850 К. При этом заметных различий в составе паров не было обнаружено. В результате термодинамического анализа был сделан вывод, что пар селена является равновесной смесью молекул  $Se_2$ ,  $Se_3$ ,  $Se_5$ ,  $Se_6$ ,  $Se_7$ ,  $Se_8$ . В области низких температур преобладают молекулы  $Se_5$  и  $Se_6$ . При достижении точки кипения преобладающими компонентами пара становятся молекулы  $Se_5$  и  $Se_2$ . На

основании приведенных в работе [1, 2] уравнений парциальных давлений (1-6)

$$2\text{Se}(\text{t}) = \text{Se}_2 \quad \lg P = 8,12 - 7190/T \quad (1)$$

$$3\text{Se}(\text{t}) = \text{Se}_3 \quad \lg P = 8,09 - 7972/T \quad (2)$$

$$5\text{Se}(\text{t}) = \text{Se}_5 \quad \lg P = 10,91 - 8158/T \quad (3)$$

$$6\text{Se}(\text{t}) = \text{Se}_6 \quad \lg P = 9,40 - 7370/T \quad (4)$$

$$7\text{Se}(\text{t}) = \text{Se}_7 \quad \lg P = 10,34 - 8083/T \quad (5)$$

$$8\text{Se}(\text{t}) = \text{Se}_8 \quad \lg P = 10,66 - 8626/T \quad (6)$$

для каждой молекулярной разновидности селена были построены температурные зависимости констант равновесия ( $\lg K$ ) (рис. 1) и изменения энергии Гиббса (рис. 2), из которых с учетом уравнений (1-6) рассчитано давление пара над твердым селеном при различных температурах (табл. 1) и построен график зависимости  $\lg P = f(T)$  (рис. 3). На рис. 4 приведена зависимость  $\lg P_{\text{Se}_n}$  от обратной температуры

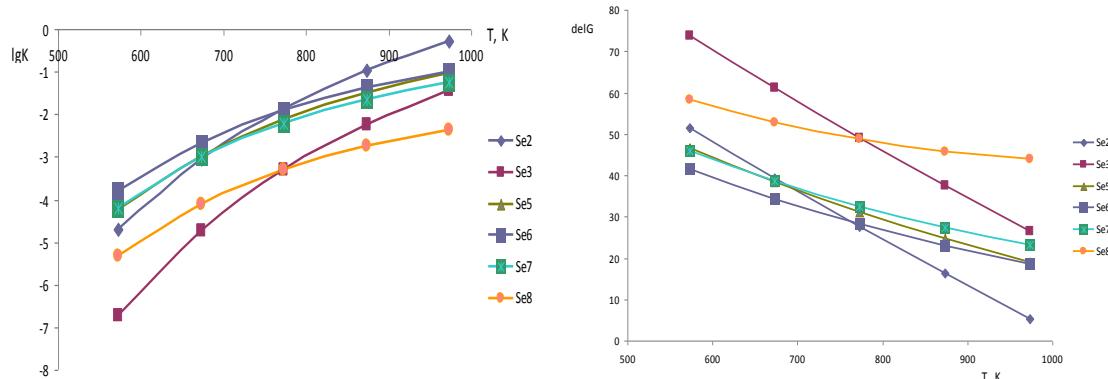


Рисунок 1 – Зависимость логарифма константы равновесия различных молекулярных разновидностей селена ( $\lg K_{\text{Se}_n}$ ) от температуры

Рисунок 2 – Зависимость изменения энергии Гиббса различных молекулярных разновидностей селена ( $\Delta G_{\text{Se}_n}$ ) от температуры

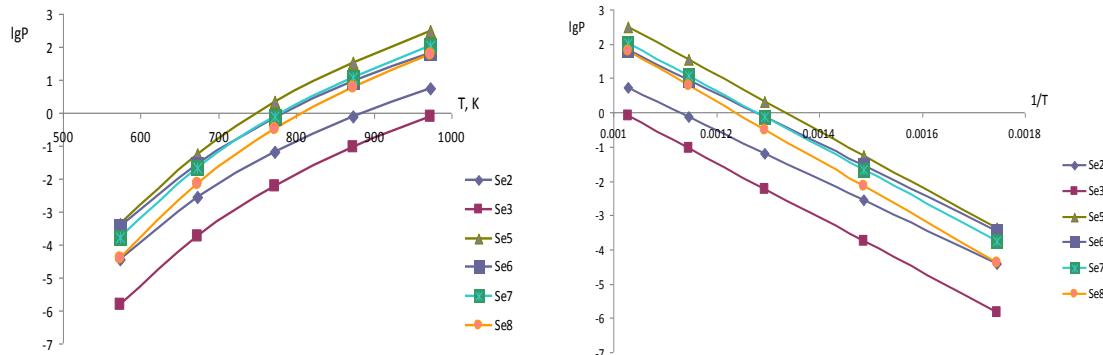


Рисунок 3 – Зависимость логарифма давления пара различных молекулярных разновидностей селена над твердым селеном ( $\lg P_{\text{Sen}}$ ) от температуры

Рисунок 4 – Зависимость  $\lg P_{\text{Sen}}$  от обратной температуры

Таблица 1

*Давление пара селена при различных температурах*

T, K	Давление пара селена - P, Па					
	Se <sub>2</sub>	Se <sub>3</sub>	Se <sub>5</sub>	Se <sub>6</sub>	Se <sub>7</sub>	Se <sub>8</sub>
573	3,732·10 <sup>-5</sup>	1,504·10 <sup>-6</sup>	0,000422	0,000345	0,000171	4,035·10 <sup>-5</sup>
673	0,00273	0,000175	0,0560	0,02812	0,0214	0,00696
773	0,0658	0,00598	2,0960	0,73404	0,7644	0,31687
873	0,7657	0,0908	34,2203	9,0750	12,0538	6,0135
973	5,3763	0,7885	314,68	66,9096	107,82	62,321

Полученные данные позволяют рассчитать энергию активации процесса возгонки селена по уравнению [3]:

$$E_a = 2,3R |\operatorname{tga} \xi|, \quad (7)$$

где R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/моль);  $\alpha$  – угол наклона кривой  $\lg P - 1/T$  к оси ординат;  $\xi$  – коэффициент масштабирования ( $\xi = 0,001$ ).

Для процесса возгонки различных молекулярных разновидностей селена получены следующие расчетные значения энергии активации, кДж/моль:

Se <sub>2</sub>	Se <sub>3</sub>	Se <sub>5</sub>	Se <sub>6</sub>	Se <sub>7</sub>	Se <sub>8</sub>
137,4	152,4	156,4	140,9	154,5	164,9

Данные значения свидетельствуют о кинетическом контроле процесса возгонки всех разновидностей селена, причем близкие значения  $E_a$  косвенно определяют лимитирующую стадию процесса – стадию перехода молекул Se<sub>n</sub> в газовую fazu.

В работе была сделана попытка проследить с помощью метода термодинамического анализа путем построения диаграмм парциальных давлений за равновесными фазовыми и химическими превращениями селенсодержащих пылей в зависимости от температуры и состава газа.

Известны два типа диаграмм, в которых при построении учитывается наличие паровой фазы в системе: это  $p-T-x$ -диаграммы и диаграммы парциальных давлений. С помощью этих видов диаграмм решаются близкие задачи. Построение диаграмм парциальных давлений базируется на рассмотрении условия равновесия гетерогенной химической реакции с участием газообразных веществ. Геометрический строй диаграмм парциальных давлений позволяет рассматривать системы различной компонентности в одной и той же системе координат парциальных давлений и выявляет область устойчивости той или иной конденсированной фазы в зависимости от состава газовой фазы. С помощью диаграмм парциальных давлений непосредственно устанавливают состав газовой (паровой) фазы. Состав же конденсированных фаз переменного состава находят косвенным путем с привлечением стехиометрических соотношений химических реакций. Этот метод имеет определенное преимущество при истолковании равновесий в системах, в которых управляемое давление газообразных веществ играет решающую роль в осуществлении процесса [4].

Согласно правилу фаз в инвариантной точке в тройной системе одновременно находятся в равновесии пять фаз: четыре конденсированные и одна газовая. В моновариантном равновесии существуют четыре фазы – три конденсированные и одна газовая, в дивариантном – три фазы: две конденсированные и одна газовая. Наконец, условию существования одной конденсированной и одной газовой фазы в трехкомпонентной системе отвечает тривариантное равновесие. В изотермических сечениях варианность системы снижается на единицу. Точки инвариантного равновесия образуются пересечением трех линий моновариантного равновесия (рис. 5-7). В одной точке могут пересекаться и четы-

ре линии моновариантного равновесия, образуя точку инвариантного равновесия четырех твердых фаз и газовой фазы. Такое пересечение возможно лишь при фиксированных температуре и давлении.

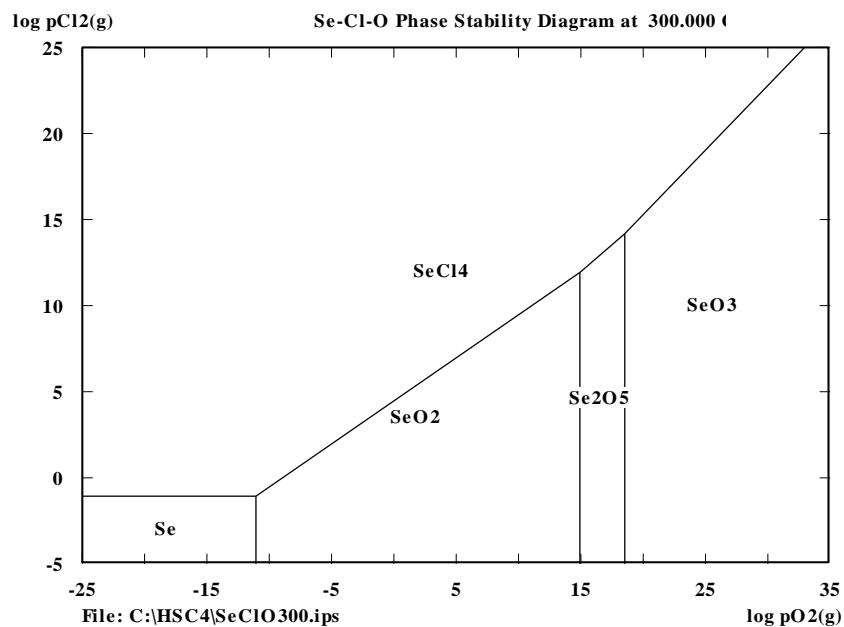


Рисунок 5 – Диаграмма парциальных давлений в системе Se-Cl-O при 300 °C

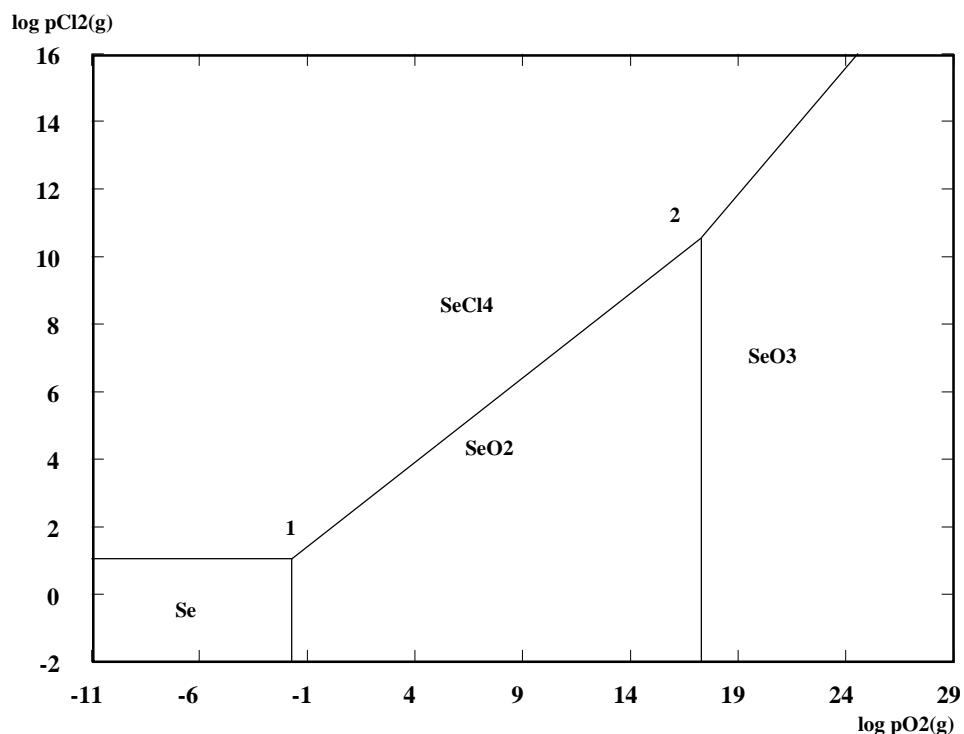


Рисунок 6 – Диаграмма парциальных давлений в системе Se-Cl-O при 500 °C

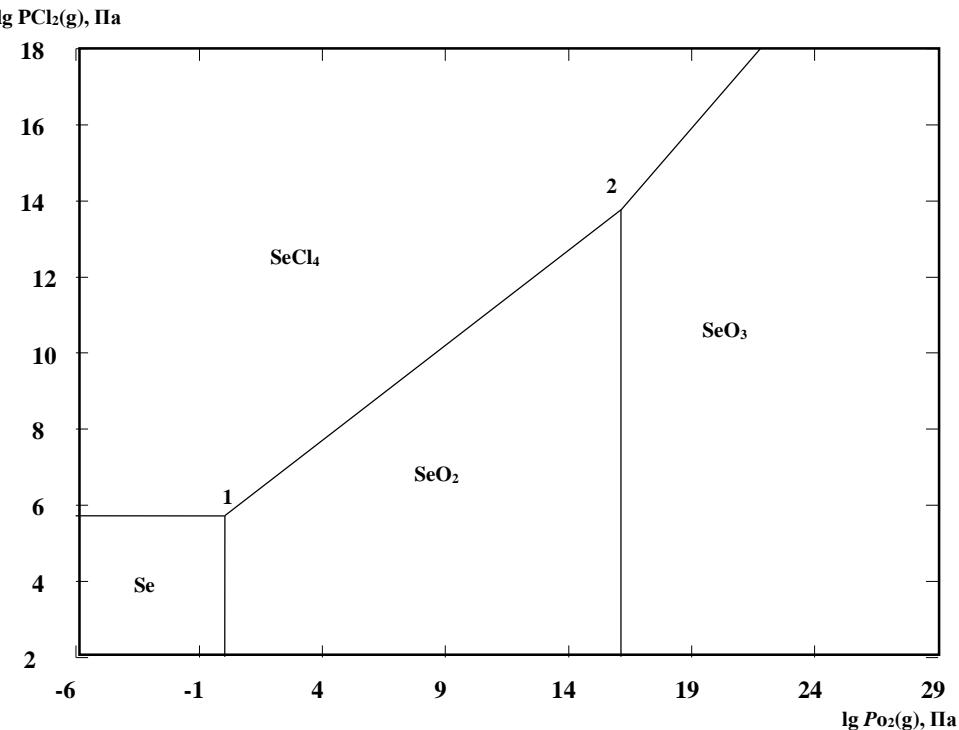


Рисунок 7 – Диаграмма парциальных давлений в системе Se-Cl-O при 600 °C

Диаграммы состояния, построенные для разных температур с использованием пакета прикладных программ HSC, позволяют определить условия технологического режима (температура, давление в системе) в зависимости от конечных целей: получение металла, оксида, хлорида и т.д.

Анализ диаграммы показывает, при каких температурах и парциальных давлениях хлора и кислорода в газовой фазе можно ждать устойчивого равновесия, при каких – нет. В области реального состава газовой фазы для открытой системы при 600 °C (рис. 7) устойчивыми фазами являются  $\text{Se}_{(\text{мет.})}$  и  $\text{SeO}_2$ . Причем фазовый переход  $\text{Se} \rightarrow \text{SeO}_2$  наблюдается при содержании  $P_{\text{O}_2} = 10^{-0.776}$  Па при постоянном содержании хлора в газовой фазе в диапазоне  $P_{\text{Cl}_2} = 10^2 - 10^5$  Па. Поскольку исследуемый процесс осуществляется в вакууме при  $P = 0,13$  Па, то принимаем содержание хлора равное следам.

При изучении кинетических закономерностей процесса вакуумной возгонки селена скорость испарения металла при заданном нагреве определяется скоростью рассеивания пара, которая обратно пропорциональна давлению газовой среды. С разрежением удлиняется средний свободный путь между соударениями молекул газа и атомов испарившегося металла.

При малых давлениях их свободные пути становятся соизмеримыми с основными размерами вакуумной печи, так что пары распространяются во всем объеме почти мгновенно. Такое молекулярное испарение металлов возможно при следующих условиях: достаточно высоком вакууме, когда можно пренебречь влиянием давления остаточных газов на скорость испарения; достаточно низком давлении пара металла, при котором истин-

ную скорость испарения можно считать независящей от давления; относительно медленном испарении, зависящем только от природы металла и температуры, т.е. при условиях, близких к равновесным.

Исследуемый процесс вакуумной отгонки селена основан на свойстве вещества испаряться при высоких температурах. Скорость испарения в вакууме, когда испарившиеся частицы не возвращаются к поверхности испарения в результате столкновения с другими частицами, можно определить по формуле Ленгмюра [1]:

$$W = 5,883 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot (M/T)^{0.5}, \quad (8)$$

где  $W$  – скорость испарения,  $\text{г} \cdot \text{см}^2/\text{с}$ ;  $P$  – давление насыщенного пара при данной температуре,  $\text{мм рт. ст.}$ ;  $M$  – молекулярная масса испаряющегося вещества,  $\text{г/моль}$ ;  $T$  – температура,  $\text{К}$ .

Эта формула справедлива при испарении металла в достаточно высоком вакууме (не более 1 мкм рт. ст. или 0,133 Па), когда число столкновений между атомами металла и молекулами газа невелико.

Кроме того, применение ее ограничивается областью температур, при которых давление пара металла не превышается 1 мм рт. ст. или 133,322 Па. При больших давлениях длина свободного пути атомов уменьшается и скорость испарения определяется уже не только свойствами и нагревом металла, а главным образом скоростью диффузии атомов из пограничного слоя в окружающее пространство.

На основании данных – давления пара селена при различных температурах (табл. 1) и уравнений (1)-(6) – рассчитана скорость испарения селена в вакууме в зависимости от температуры. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

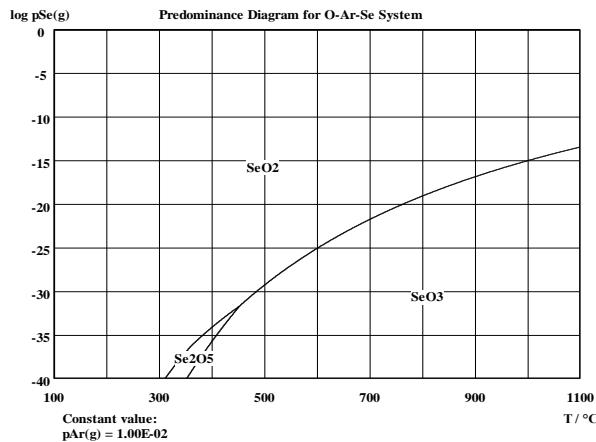
Таблица 2

*Расчетные скорости испарения различных молекулярных разновидностей селена  
в зависимости от температуры*

T, K	Скорость испарения различных молекулярных разновидностей селена, $\text{г} \cdot \text{см}^2/\text{с}$						
	Se <sub>2</sub>	Se <sub>3</sub>	Se <sub>5</sub>	Se <sub>4</sub>	Se <sub>7</sub>	Se <sub>8</sub>	Se <sub>Σ</sub>
623	$6,126 \cdot 10^{-12}$	$3,3615 \cdot 10^{-14}$	$6,2832 \cdot 10^{-12}$	$3,69137 \cdot 10^{-11}$	$2,68606 \cdot 10^{-12}$	$1,75929 \cdot 10^{-13}$	$5,23075 \cdot 10^{-11}$
673	$2,08562 \cdot 10^{-9}$	$2,2972 \cdot 10^{-11}$	$4,7909 \cdot 10^{-9}$	$1,48109 \cdot 10^{-8}$	$2,04028 \cdot 10^{-9}$	$1,99494 \cdot 10^{-10}$	$2,38788 \cdot 10^{-8}$
723	$1,88098 \cdot 10^{-7}$	$3,4995 \cdot 10^{-9}$	$9,2153 \cdot 10^{-7}$	$1,42896 \cdot 10^{-6}$	$3,12039 \cdot 10^{-7}$	$4,57851 \cdot 10^{-8}$	$2,90167 \cdot 10^{-6}$
823	$9,27969 \cdot 10^{-5}$	$1,599 \cdot 10^{-5}$	0,00049883	0,000314334	0,00011152	$1,92701 \cdot 10^{-5}$	0,001040036
873	0,000802808	$5,6794 \cdot 10^{-5}$	0,00326431	0,001393304	0,000529455	$9,19581 \cdot 10^{-5}$	0,006142214
923	0,007007493	0,00016648	0,01664763	0,00491686	0,001961582	0,000348439	0,031133658
973	0,022373157	0,00043112	0,06925623	0,014454568	0,006033211	0,001099804	0,113649351
1023	0,083110436	0,00093407	0,22800208	0,036284202	0,016180793	0,002941962	0,36774529
1073	0,277684607	0,00148418	0,67745469	0,081270624	0,037822558	0,006511225	1,079857983

Полученные расчетные данные подтверждаются видом диаграммы  $\lg P_{\text{Se}} - T$  (рис. 8), которая была построена с применением пакета HSC 6.0 для условий достаточно глубокого вакуума.

Для исключения влияния кислорода диаграмма рассчитана для условий нейтральной атмосферы (аргон). Очевидно, что равновесие в этой системе смещено в сторону разрушения (особенно при низких давлениях) высших оксидов селена.

Рисунок 8 – Диаграмма равновесия IgP<sub>Se</sub>-T для оксидов селена в условиях вакуума

Таким образом, в данной работе определены на основе вычисленных термодинамических данных численные значения энергии активации процесса возгонки различных молекулярных разновидностей селена, получены кинетические зависимости скорости испарения различных молекулярных разновидностей селена от температуры, была сделана попытка проследить с помощью метода термодинамического анализа путем построения диаграмм парциальных давлений за равновесными фазовыми и химическими превращениями селенсодержащих пылей в зависимости от температуры и состава газа.

#### Список литературы

- Герасимов Я.И. Химическая термодинамика в цветной металлургии / Я.И. Герасимов, А.Н. Крестовников, С.И. Горбов. – М: Металлургия, 1974. - Том VI.
- Пазухин В.А. Разделение и рафинирование металлов в вакууме / В.А. Пазухин, А.Я. Фишер. – М.: Металлургия, 1969. - 204 с.
- Вольдман Г.М. Теория гидрометаллургических процессов / Г.М. Вольдман, А.Н. Зеликман. – М.: Интермет Инжиниринг, 2003.
- Храпунов В.Е. Исследования по получению марочного селена из пылей рукавных фильтров аффинажного производства / В.Е. Храпунов, С.А. Требухов, М.А. Адылканова // Комплексное использование минерального сырья. – 2013. – № 4. – С. 52-56.

Получено 18.04.2018

УДК 624.131

**Н.Е. Амангелдиев, Ж.Ж. Жунусбекова**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

#### АНАЛИЗ ТЕОРИИ РЕЗАНИЯ ГРУНТОВ

*Теория резания грунтов – раздел механики грунтов, посвященный разрушению грунтов от делением стружки от грунтового массива. Теория резания основания на современном этапе имеет ряд допущений. Расхождение теории с практикой определяется огромным количеством факторов, влияющих на физико-механические характеристики оснований, что показывает необходимость обновления подхода, предлагаемого в качестве основы в теории резания.*

Топырақтарды кесу теориясы – топырақ жонқасын сілемінен ажырату арқылу топырақты бұзуга арналған топырақтар механикасының бөлімі. Заманау кезеңдерге негізделген кесу теориясында бірқатар өзгерістер бар. Тәжірибелемен салыстырандагы ауытқулар негіздің физикалық-механикалық сипаттамаларына әсер ететін кептеген факторлармен анықталады және бұл өз кезегінде кесу теориясының негізі ретіндегі болжамдалатын әдісті жаңарту керектігін көрсетеді.

*Theory cutting soil - soil mechanics section dedicated to the destruction of soil chip separation from the soil mass. Base cutting theory at this stage has a number of assumptions. The discrepancy between theory and practice is determined by the large number of factors that affect the physical and mechanical characteristics of the grounds, which shows the need to update the approach contemplated as a basis in theory of cutting.*

Основные фонды мировой и отечественной экономики создаются, в основном, в процессе строительства. Важным технологическим процессом строительного производства являются земляные работы, к которым относятся отрывка котлованов и траншей, устройства насыпей, бурение скважин, в том числе на дне водоемов и морей, планировка поверхности грунта и т.д.

Освоение больших масштабов земель в Республике Казахстан требуют постоянного развития и технического совершенствования строительной индустрии. Строительные организации располагают значительным парком строительно-дорожных машин, из года в год расширяется их номенклатура, растет выпуск на заводах ближнего и дальнего зарубежья, улучшается качество.

Конструкция и силовые характеристики земляных машин определяются физическими и механическими характеристиками разрушаемости среды грунта. Равномерное напряжение материала, свойственное случаям сжатия равномерно распределенной нагрузкой, действующей по направлению, перпендикулярному одной из граней сжимаемого массива, не является характерным для грунтов, которые, залегая мощными пластами, обычно подвергаются нагрузке, размещённой на ограниченной площади [1].

Допуская, что в передаче усилий внутри массива участвует значительная толщина грунта, не ограниченная в своем распространении никакими физическими границами, можно представить этот массив как бесконечно распространенный объем, ограниченный сверху горизонтальной плоскостью приложения силы. Геометрическое представление о бесконечно распространенном объеме, ограниченном одной плоскостью, разделяющей все пространство на две части, характеризуется термином полупространства.

Нагрузка, передаваемая на единственную поверхность полупространства, может иметь любой характер. В частности, вполне возможно представить себе бесконечно распространенную равномерную нагрузку, действующую перпендикулярно к ограничивающей плоскости. Однако этот случай не представляет новизны для исследования, поскольку здесь усилия может вызывать только равномерное сжатие грунта, не отличающееся от компрессионного сжатия. Физически приходится иметь дело с такими постоянными нагрузками, которые имеют относительно малые размеры в плане.

Напряжения от действия силы на поверхность полупространства могут рассматриваться как результат энергетического воздействия, передающего механическую энергию из некоторого энергетического центра вглубь полупространства по радиально расходящимся лучам, которые при условии полной однородности материала полупространства сохраняют на всем своем пути прямолинейное направление. Любой прямолинейный луч, направление которого определено углом его наклона к полярной оси, с физической стороны представляет собой элементарный энергетический пучок, распространяющийся в той части полупространства, которая заключена внутри малого телесного угла, соответствующего в плоском сечении элементарному углу. В сечениях этого энергетического пучка сферическими поверхностями различных радиусов, очерченных из точки приложе-

ния силы, получается постепенное рассеяние выраженного этим пучком элементарного усилия. Каждое сечение энергетического пучка может быть выражено как площадь основания элементарного конуса, имеющего высоту и угол при вершине.

Пользуясь общими формулами для определения напряжений от сосредоточенной силы, можно перейти к более сложным случаям напряжений, вызванных не сосредоточенной силой, а силой, распределенной по площади. При неравномерной интенсивности распределенной нагрузки вычисление напряжений представляет значительные трудности и производится приближенным методом. Для этой цели всю неравномерно загруженную площадь можно привести приблизенно к несколько более правильной форме, разбив ее на небольшие квадраты одинакового конечного размера и приняв допущения о равномерности распределения нагрузки в пределах каждого квадрата. Тогда в каждом квадрате распределенную нагрузку можно заменить малой сосредоточенной силой, приложенной в центре этого квадрата [1].

Таким образом, подобными определениями напряжений в грунтах можно пользоваться для расчета рабочих органов землеройных машин, представляя, например, резец или нож как штамп, действующий на грунт. Конечно, необходимо использование особенной методики, которая бы характеризовала не длительное действие фундамента на грунт, а довольно короткое воздействие рабочего органа до мгновения разрушения грунта, когда перед резцом возникает уплотненная масса грунта, вызывающая сопротивление резанию.

Очень широко исследовал резание грунтов Ветров Ю.А., который всю силу блокированного резания предложил рассматривать как сумму трех составляющих: а) силы для преодоления грунта передней гранью ножа  $P_{cb}$ , пропорциональной площади сечения прорези перед передней гранью ножа и зависящей от угла резания и крепости грунта; б) силы для преодоления сопротивлений грунта разрушению в боковых расширениях прорези  $P_{bok}$ , пропорциональной площади этих частей прорези, зависящей от крепости грунта и не зависящей от угла резания и ширины среза; в) силы для преодоления сопротивлений грунта срезу боковыми ребрами ножа у дна прорези  $P_{bok,cr}$ , пропорциональной толщине среза, зависящей от крепости грунта и не зависящей от ширины среза и угла резания (см. рис.).

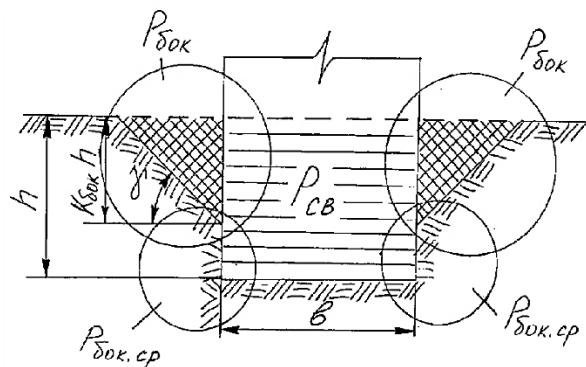


Рисунок - Зоны действия сил сопротивления резанию

Вся сила резания простым острым ножом определяется:

$$P = P_{cb} + P_{bok} + P_{bok,cr}, \quad (1)$$

$$P_{cb} = p_{cb} \cdot F_{cb}, \quad (2)$$

$$P_{bok} = p_{bok} \cdot F_{bok}, \quad (3)$$

$$P_{bok,cr} = p_{bok,cr} \cdot L_{bok,cr}, \quad (4)$$

где  $p_{\text{св}}$  и  $p_{\text{бок}}$  – удельные силы разрушения грунта соответственно в средней части и в боковых расширениях прорези;  $F_{\text{св}}$  и  $F_{\text{бок}}$  – площади средней и боковых частей поперечного сечения прорези;  $p_{\text{бок,ср}}$  – суммарная сила резания грунта боковыми ребрами ножа;  $L_{\text{бок,ср}}$  – суммарная длина линий среза грунта боковыми ребрами ножа. Предложенные Ветровым Ю.А. зависимости определения всех трех составляющих силы резания [2] связаны с экспериментальным значением удельной силы резания, которая неодинакова и для различных грунтов, и для различных условий резания. Вследствие чего возникает большой ряд допущений, и точность теоретических положений не определяется сходимостью их с практикой.

В сложной системе строительства грунтовые основания являются средой, определяющей несущую способность грунтов, и одновременно разрушаемой средой. В связи с этим в строительстве решаются две задачи, связанные с грунтами: 1) какова несущая способность тех или иных грунтовых оснований; 2) каковы силы сопротивления грунта резанию.

При этом в первой задаче учитываются напряжения в грунтовых основаниях, которые вызывают различные деформации и разрушения грунтов, снижающие или доводящие до полной потери несущей способности грунтов. Во втором случае определяются силы сопротивления резанию, возникающие на режущей кромке рабочего органа землеройной машины при разрушении грунта.

Более правильным было бы учитывать массу грунта, участвующего и в сопротивлении нагрузке здания, и в сопротивлении резанию и уплотнению, так как именно определенная масса грунта обеспечивает несущую способность сооружения и сопротивляемость грунта разрушению, образуя перед резцом своеобразное «уплотненное ядро», которое было экспериментально зафиксировано еще в 30-х годах 20-го века в работах Динглингера и Ратье [3].

В связи с этим появляется необходимость пересмотра базисных уравнений механики грунтов и теорий резания на основе второго закона Ньютона для того, чтобы установить полные закономерности, определяющие несущие способности грунтов и сопротивляемость грунта разрушению, а также повысить точность инженерных расчетов.

#### Список литературы

1. Орнатский Н.В. Механика грунтов. - М.: МГУ, 1962. - 448 с.
2. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. - М.: Машиностроение, 1971. – 357 с.
3. Кадыров А.С. Основы нагружения фрезерных и бурильных машин / А.С. Кадыров, Р.А. Кабашев. - Караганда, 1999. - 124 с.

Получено 18.04.2018

ЭОЖ 661.2

#### Д.Б. Аринова

Қ.И. Сатпаев атындағы ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы қ.

#### А.А. Тастанбекова

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

#### Ж.К. Шуханова, Г.К. Шегенова, К.Т. Охапова, З.А. Ибрагимова

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

#### МҰНАЙӨҢДЕУ ӨНЕРКӘСПТЕРІНІҢ ҚАЛДЫҚТАРЫН ШИНАЛАР РЕЗЕҢКЕ ӨНДІРІСІНДЕ ҚОЛДАНУ ЖОЮ

*Важным научным направлением нефтехимии является производство пластикаторов, мягчителей, вулканизующих агентов, наполнителей на основе техногенных отходов. Это позволяет*

ет расширить сырьевую базу, использовать большие запасы отходов нефтепереработки, уменьшить техногенное воздействие на окружающую среду и решить проблему производства импортозамещающих мягчителей для резиновой промышленности Казахстана. Особенностью казахстанских нефтелей является повышенной содержание соединений серы, вследствие чего образуется много серных отходов, являющихся экологически опасными при открытом хранении.

Біздің жұмысызда ингредиенттердің тіркелген мөлшерінде жеңіл шиналар бортының толықтыру шнурын дайындау үшін тұрғызылған резенкелі қоспалардың рецептурасын оңтайландыру жұмыстары жүргізілді. Резенкелі қоспаның құрамындағы мұнайшламының органикалық бөлігінің оңтайлы мөлшерін анықтау мақсатында мұнайшламының органикалық бөлігінің әртүрлі мөлшері бар резенкелі қоспалар алынды.

*In our work by the successive study of influence on properties of rubbers of maintenance of each of components individually (sulphurs and) at the fixed amounts of other ingredients optimization of compounding of the worked out rubber mixtures was conducted for making of filler cord of side of automobile tires. With the purpose of exposure of optimal amount of organic part of (OBI) in composition rubber mixtures rubber mixtures were got with different maintenance of OCH.*

**Кілтті сөздер:** мұнайшламының органикалық бөлігі (МОБ), мұнайшламдары, жұмсартқыштар, желімдеуші агент, теңіз күкірті, желімдеуші жүйесі, резиналы қоспа, толықтыруши шнур, борт.

Мұнайхимиясының маңызды ғылыми бағыты техногенді қалдықтар негізіндегі тығындар, желімдеуші агенттер мен пластификаторлар және жұмсартқыштарды шыгару болып табылады. Бұл шикізат базасын кеңейтуді, мұнайөндеу қалдықтарының мол қорларын пайдалануды, қоршаған ортаға техногенді әсер етуді төмендетуді және Қазақстанның резенке өнеркәсіптеріне арналған импортты алмастыруши жұмсартқыштар өндірісінің мәселелерін шешуді қамтамасыз етеді.

Қазақстан мұнайының ерекшелігі - ашық сактауда экологиялық қауіпті болып табылатын күкіртті қосылыстардың жоғарылығы, сондықтан күкіртті қалдықтардың көп жинақталуы болып табылады [1]. Біздің жұмыста зерттеу жолымен әрбір компоненттің жеке-жеке (кукірт және мұнайшлама) құрамының резенке қасиеттеріне әсері анықталып, басқа ингредиенттердің тіркелген мөлшерінде жеңіл шиналардың бортын толықтыруши шнурын жасауға арналған резенкелі қоспаларды оңтайландыру жұмыстары жүргізілген. Резенкелі қоспалар құрамындағы мұнайшламының органикалық бөлігінің (МОБ) оңтайлы мөлшерін анықтау мақсатында әртүрлі МОБ құрамды резенкелі қоспалар алынған. Пластификаторлар мен жұмсартқыштар МОБ-не алмастырылған. Сонымен қатар резенкелі қоспалардың рецептураларында желімдеуші агент ретінде теңіз кенорнының полимерлі және коллоидты күкірт қоспасы пайдаланылған. Кеңейтілген сынақтардың нәтижесі дәстүрлі резенкелі қоспалардағы жұмсартқыштарды мұнайшламының органикалық бөлігіне алмастырып және желімдеуші агент түрінде теңіз күкіртін пайдалану мүмкіндігін көрсетті.

Қазақстанның резенке өнеркәсібі резенкелі ингредиенттердің шектеулі ассортименттерінен тұрады. Мұнайхимияның маңызды ғылыми бағыты техногенді қалдықтар негізіндегі пластификаторлар, жұмсартқыштар, желімдеуші агенттер мен толықтырушиларды жасау болып табылады. Бұл шикізат қорын кеңейтіп, мұнайөндеу қалдықтарының мол қорларын пайдалануды, қоршаған ортаға антропогенді жүктемелерді азайтып және Қазақстанның резенкелі өнеркәсібі үшін қажетті импортты алмастыруши жұмсартқыштар мен желімдеуші агенттерді өндіру мәселелерін шешуді қамтамасыз етеді. Қазақстан мұнайының ерекшелігі - оның құрамында күкіртті қосылыстың көптігі, соның нәтижесінде мол күкіртті қалдықтардың жинақталуы болып табылады [2].

Жалпы қабылданған резенкелі қоспаларда органикалық және органикалық емес төмөнмолекулярлы қосылыстарды қолдану тиімді болып табылады. Полимерлер және төмөнмолекулярлы қосылыстарды, әсер ету тиімділігі жағынан, жұмсартқыштар мен пластификаторлар деп бөледі. Жұмсартқыштар деп каучуктың шыныға айналу темпера-

турасына әсер етпейтін, аққыштық температурасын төмендететін төмөнмолекулярлы қосылыстарды атайды. Пластификаторлар каучуктардың аққыштық температурасы мен шыныға айналу температурасын төмендететін төмөнмолекулярлы қосылыстар болып табылады.

Жұмсартқыштар мен пластификаторларға қойылатын маңызды талаптар олардың құнының төмөндігі болып табылады. Сонымен қатар оларды алу үшін берілген шикізаттың қолжетімділігіне көп көңіл бөлінеді. Пластификаторлар мен жұмсартқыштарға қойылатын әртүрлі басқа да талаптар пластификатор мен жұмсартқыштардан тұратын дайын заттың жұмыс көрсеткіштерінің нақты шарттарымен анықталады.

Резенкелі қоспаларда желімдеуші агент ретінде күкіртті қолданады, сондықтан біздің жұмысымызда желімдеу жүйесінде мұнайөндіру және мұнайөндеу кезіндегі қалдықтардан алынған тазартылған теңіз күкіртін қолдану ұсынылады.

Бізде бұрын «ПетроКазахстанОйлПродактс» ЖШС мұнайшламынан бөлініп алынған мұнайшламының органикалық бөлігіне сынамалар жүргізілген. Дәстүрлі жұмсартқыштар - ПН-6Ш майы және АСМГ жұмсартқышын алмастыратын рецептуралары жұмсартқыштар ретінде жалпы тағайындалған каучук негізіндегі резенкелі қоспалар. Технологиялық қасиеттерін анықтау нәтижесі бойынша МОБ пластификациялық әсер беретіндігі анықталған [3, 4].

Резенкелі қоспалардың рецептураларын онтайландыру үшін келесі зерттеу жолымен әрбір компоненттің жеке-жеке (күкірт және мұнайшлама) құрамының резенке қасиеттеріне әсері анықталып, басқа ингредиенттердің тіркелген мөлшерінде женіл шиналардың бортын толықтыруыш шнурын жасауға арналған резенкелі қоспаларды онтайландыру жұмыстары жүргізілген.

Резенкелі қоспалар құрамындағы МОБ-нің онтайлы мөлшерін анықтау мақсатында әртүрлі МОБ құрамды резенкелі қоспалар алынған. Пластификаторлар мен жұмсартқыштар МОБ алмастырылған.

Сонымен қатар резенкелі қоспалардың рецептураларында желімдеуші агент ретінде теңіз кенорнының полимерлі және коллоидты күкіртінің қоспасы пайдаланылған. Бортты ленталарды жасауда қолданылатын резенкелі қоспалардың рецептілері 1-кестеде келтірілген.

Мұнайшламының жоғарыдисперсті минералды фракциясы (1-5 мкм) женіл шиналардың жақтаулық қанаттары шнурының толықтыруышының жасау үшін резенкелі қоспалардың рецептурасында қолданылған.

«Монсанто» реометрінде алынған резенкелі қоспалардың желімдеуші сипаттары күкірт пен МОБ-нің әртүрлі мөлшерлемесі желімдеуші резенкелі қоспалардың кинетикасына тікелей әсер етеп алатындығы дәлелденген. Резенкелі қоспаға МОБ-ін қосса, эластомерлі матрицаның минималды тұтқырлығы мен қаттылық жүйесін төмөндөтүге алып келеді.

Бұл төмөндеу МОБ-нің пайыздық құрамына тікелей пропорционал. Теңіз күкіртін қолдану желімдеу платосының ұзақтығын сақтауға мүмкіндік береді, ол толықтыру шнурының резенкесін қайта желімдеудің алдын алады.

Резенкелі қоспалардың ең жақсы технологиялық қасиеттерін сипаттайтын минималды тұтқырлықтың төмөндеуі мен желімдеу уақытының артуына алып келетін компоненттердің онтайлы мөлшері толықтыру шнурына арналған резенкелі қоспалар үшін МОБ-нің 7 және 8 массалық бөлігін құраған жағдайда көрінеді. Резенкелі қоспалардың вулканометриялық қисығын сараптаудан толықтыруыш шнур үшін резенкелі қоспалардың желімделуіне жетудің онтайлы уақыты 23 минутты құрайтындығы анықталды.

## 1-кесте

*Бортты қанаттың толықтыруышы шнурын жасауда арналған оңтайлы резенкелі қоспа рецептісі*

Ингредиенттер атауы	Каучук бөлігінің 100 г салмағына					
	Үлгі	Зерттелу варианты				
1	2	3	4	5	6	7
СКИ-3	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Бутил каучук	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Техникалық күкірт	2,4	-	-	-	-	-
Теніз күкірті	-	1,2	1,6	2,0	2,2	2,4
Сульфенамид «Ц»	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Сантогард РУ	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Цинкті белила	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Стеаринді техникалық қышқыл	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
АСМГ жұмсартқышы	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Мұнайшламының органикалық бөлігі	-	4,0	5,0	6,0	6,5	7,0
ПН-6Ш майы	4,0	-	-	-	-	-
Ацетоналил Р	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Диафен ФП	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Техникалық көміртегі	70,0	60,0	55,0	50,0	45,0	40,0
Мұнайшламының минералды бөлігі	-	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0

Тәжірибелік резенкелерді физика-механикалық сынау қорытындысы бортты қанаттардың толықтыруышы шнурына арналған резенкелі қоспалардың рецептурасында мұнайшламының органикалық бөлігін қолданудың едәуір маңыздылығын көрсетті. Өйткені дәстүрлі қолданып келген жұмсартқыштарды МОБ-не ауыстырғанда резенкелер қасиеттерінің көрсеткіштері бақылау нормасына сәйкес келеді. Ен үлкен нәтижелер толықтыруышы шнурға арналған резенкелі қоспалар үшін МОБ 8-10 салмақтық бөлігі мөлшерінде көрінген. Толықтыруыш шнуры резенкесінің желімдеушісінің негізгі физика-механикалық көрсеткіштері мен МОБ-нің мөлшерлемесі және теңіз күкіртінің тәуелділіктері 2-кестеде көлтірілген.

## 2-кесте

*Мұнайшламының органикалық бөлігі мен теңіз күкірті қоспасы қосылған толықтыруышы шнурға арналған жалпы тағайындалған каучук негізіндең желімдеушілердің қасиеттері*

Көрсеткіштер атаулары	Бақылау нормалары	1-в	2-в	3-в	4-в	5-в
Созылуда шартты қаттылық, кгс/см <sup>2</sup> , кем емес	92	107	104	109	111	111
Үзілудегі салыстырмалы созылу, %, кем емес	270	270	300	310	310	295
Шору А бойынша қаттылық, шарт бірлік	70	75	77	77	78	75

МОБ мөлшерлемесі артқанда резенкенің қаттылық көрсеткіштерінің маңызысыз төмендеуі мен эластикалық қасиетінің артуы мұнайшламының органикалық бөлігінің төменмолекулярық қосылыстарының пластификациялау әсері механизмімен түсіндіріледі. Ол

макромолекулалар арасына кіріп, каучуктың макромолекулаларының молекулалар арасындағы әсерлесуін төмендетеді. Толықтыруши қанат резенкесінің қаттылық қасиетінің аз төмендеуі міндепті емес, ейткені бортты қанаттар конструкциясының негізгі қаттылығын жезделген сымнан жасалған бортты сақиналар береді. Теніз құқіртін пайдалану МОБ-ін қолданғанда төмендейтін желімдеу кинетикасын сактауға мүмкіндік берді. Сонымен қатар теңіз құқіртін қолдану автопокрышкалардың бортының қатаандығын арттыруға қажетті резенкенің қаттылығын арттыруға мүмкіндік берді.

Сонымен, кеңейтілген сынамалар резенкелі қоспаларда қолданған дәстүрлі жұмсартқыштарды мұнайшламының органикалық бөлігіне ауыстыру мен теңіз құқіртін желімдеуші агент түрінде қолдану мүмкіндігін көрсетті. Толықтыруши шнурды жасауға арналған резенкелі қоспалардың рецептурасындағы толықтырушылар мұнайшламының минералды бөлігіне бөлшектеп ауыстырыла алады.

#### Әдебиеттер тізімі

- Надиров Н.К. Тенгиз – море нефти – море проблем. – Алматы: Фылым, 2003. – 144 с.
- Сера – отходы производства или ценнное ископаемое // Cashian. - 2002.- С. 80-82.
- Turebekova G.Z., Pusurmanova G.J., Sakibaeva S.A., Orazymbetova A.O. Prospects for the use of waste oil production and refining – sulfur in the production of technical rubbers // Innovation – 2015: Materials of international scientific-technical conference. – 2015. - Р. 51-53.
- Turebekova G. Z., Shapalov Sh., Sakibayeva S. A., Zharylkasyn P. M., Pusurmanova G. Zh. Application of oil industry wastes (sludges and sulfur) in rubber production //Известия НАН РК. – 2016. - № 6(420). - С.185-188.

Қабылданды 18.04.2018

УДК 621.926

#### **Д.Б. Аринова, Е.С. Аскаров**

Казахстанский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, г. Алматы

#### **А.А. Тастанбекова**

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

#### **Ж.К. Шуханова**

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, г. Шымкент

#### **ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНО-ГИРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЫ**

*В данной статье рассматривается разработка новых конструкций с целью снижения энергопотребления и повышения производительности. Наиболее перспективными в этом отношении являются помольные агрегаты с повышенными скоростями движения рабочих органов – установки на базе центробежно-гирационных мельниц. Они отличаются более высокой интенсивностью процесса измельчения, а следовательно, и большей производительностью по отношению к ранее применяемым мельницам.*

*Бұл мақалада жаңа конструкциялардың құрастыру, яғни электрқуатты тиімді пайдаланып өнімділікті жоварылату мәселеі қарастырылады. Ұнтақтау агрегаттарының ішінде жұмыс органдарының қозғалыс жылдамдығы шапшаң болатын центрден тепкіш дірменді қолданудың болашағы зор. Олардың ерекшелігі ұнтақтау процесінің жовары қарқындылығы, сонымен қатар бұрын қолданылған дірмендермен салыстырғанда өнімділіктің жоварылауы болып табылады.*

*This article discusses the development of new designs, with the aim of reducing energy consumption and improving performance. Most promising in this respect are the grinding units with high speeds of movement of the working bodies, it is setup on the basis of centrifugal-gyratory mills. They differ in higher intensity of process of crushing, and, therefore, and bigger productivity in relation to earlier applied mills.*

**Ключевые слова:** энергоёмкость, минеральное сырье, измельчение, металлоемкость, износ, динамический показатель, мельница.

Развитие казахстанского машиностроения активно поддерживается растущим внутренним спросом на оборудование для добывающей промышленности, металлургии и строительства. Низкая стоимость электроэнергии является преимущественным фактором для развития машиностроения в Казахстане с учетом его энергоёмкости. Раскрытию потенциала казахстанского машиностроения способствуют наличие развитой транспортной сети и географически близкое расположение крупнейших мировых импортеров продукции машиностроения: Китая, России и т.д.

В Казахстане запущено более 250 линий по производству оборудования и запасных частей, соответствующих международным стандартам, в ряде секторов: горнодобывающим, нефтегазовом, электрических систем и электроники. Изобилие рудных запасов в Казахстане способствует повышению конкурентоспособности казахстанской продукции тяжелого машиностроения на мировом рынке за счет оптимизации цен.

На сегодняшний день на территории Казахстана располагается порядка 250 видов полезных ископаемых, около 200 разных драгоценных и полудрагоценных камней. Страну по праву можно считать кладовой нашей планеты [1].

По данным МИА «Казинформ», ссылающегося на Министерство экономики Казахстана, за первые восемь месяцев 2017 г. в стране было добыто 26,0 млн т железной руды, что на 11,4% превышает показатель аналогичного периода прошлого года. В стоимостном выражении производство железной руды за семь месяцев составило 144,1 млрд тенге - на 57% больше, чем в тот же период годом ранее [2].

Современная мировая промышленность не стоит на месте, с каждым годом она растет и переходит на более высокий уровень технологичности и производительности в ногу с развитием науки и техники. В то же время при тех же и меньших затратах энергии сегодня требуется большая производительность. Достигнуть этого можно либо благодаря оптимизации имеющихся, либо созданием новых конструкций, машин и технологий. Процесс измельчения – это один из основных технологических процессов в металлургическом производстве, таких как полезные ископаемые, минеральное сырье, цемент, известь, гипс, различные наполнители строительных пластмасс, кварцевый и мраморный песок и др. Необходимость исследования в этой области определяется влиянием степени измельчения на свойства материалов и большим объемом их производства [3].

Измельчение в металлургической отрасли является одной из самых энергоемких стадий производства. При измельчении любого минерального сырья необходимо соблюдать принцип «не дробить ничего лишнего». Переизмельчение приводит к излишнему расходу энергии, увеличению износа мельниц, уменьшению их производительности [4]. Модernизация старых машин и разработка новых конструкций с целью снижения энергопотребления и повышения производительности являются одними из основных задач, решением которых заняты современные разработчики оборудования и научно-исследовательские институты. Сокращение расходов на измельчение напрямую влияет на стоимость продукции и соответственно, конкурентоспособность продукции на рынке.

Многочисленные и всесторонние исследования процесса измельчения материалов и изменения их физико-химических свойств [2, 5-7] показали, что с ростом тонкости помола измельчение затрудняется, затраты энергии увеличиваются, а при определенной граничной для этого материала тонкости и способе разрушения дальнейшее измельчение становится невозможным [3].

Наиболее перспективными в этом отношении являются помольные агрегаты с повышенными скоростями движения рабочих органов - установки на базе центробежно-гирационных мельниц. Они отличаются более высокой интенсивностью процесса измельчения, а следовательно, и большей производительностью по отношению к ранее применяемым мельницам (при надлежащих габаритах).

Существующие в настоящее время центробежно-планетарные мельницы отличаются высокой сложностью конструкции, большой стоимостью, помольные тела залипают в помольной камере, их перемешивание неэффективно, затруднена подача сырья в помольную камеру. Эти мельницы также отличаются и динамической неуравновешенностью, что приводит к их быстрому износу. Сравнительно недавно разработана новая конструкция мельницы центробежно-гирационного типа.

Предлагается новая конструкция привода вибратора такой мельницы, который конструктивно намного проще аналогов, динамически хорошо уравновешен, вследствие чего мельница имеет низкий уровень вибрации и малый износ при работе. Металлоемкость мельницы по сравнению с существующими центробежными мельницами понижена примерно в 2 раза. Мельница имеет уровень потребления электроэнергии как минимум в 2 раза меньше, чем у существующих мельниц. Низкие энергозатраты объясняются использованием при помоле центробежной силы колебания помольных тел. Получение такой силы требует намного меньшего расхода энергии, чем, скажем, использование силы гравитации, применяемой в шаровых мельницах, или силы сжатия вальцов в вальцевых мельницах [8].

Предлагаемая мельница по потреблению электроэнергии является наиболее приемлемым вариантом, удельный показатель равен 60-80 кг/квт по зерну и 120-150 кг/квт по руде. У других существующих видов мельниц этот показатель ниже. Мельница отличается невысоким уровнем металлоемкости. Для сравнения можно сказать, что шаровая мельница производительностью 10 тонн/час имеет вес 30 тонн, а вес центробежно-гирационной мельницы с такой же производительностью будет на уровне 7-8 тонн.

Мельница отличается невысоким уровнем сложности конструкции. Достоинством ее конструктивной компоновки можно считать установку противовеса посередине вала, что значительно улучшило динамические показатели мельницы (рис. 1).

Из опытов получены данные, из которых видно, что на производительность мельницы оказывает влияние частота вращения вала, объем помольных камер, длина кривошипа. На дисперсность получаемого продукта влияет частота вращения вала, длина помольных камер, твердость и шероховатость помольных тел, их масса [6].

Данная схема не имеет избыточной связи, динамически уравновешена, не требует применения зубчатых колес, конструктивно проста (рис. 2).

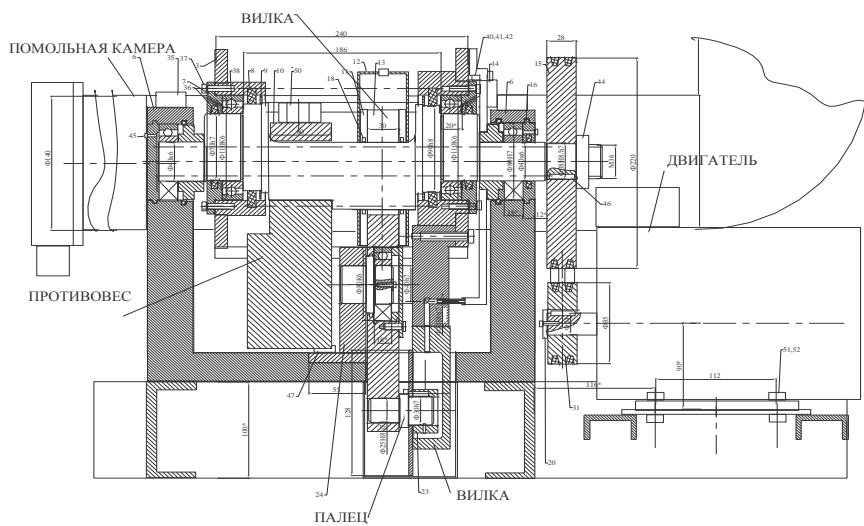


Рисунок 1- Компоновка конструкций мельницы

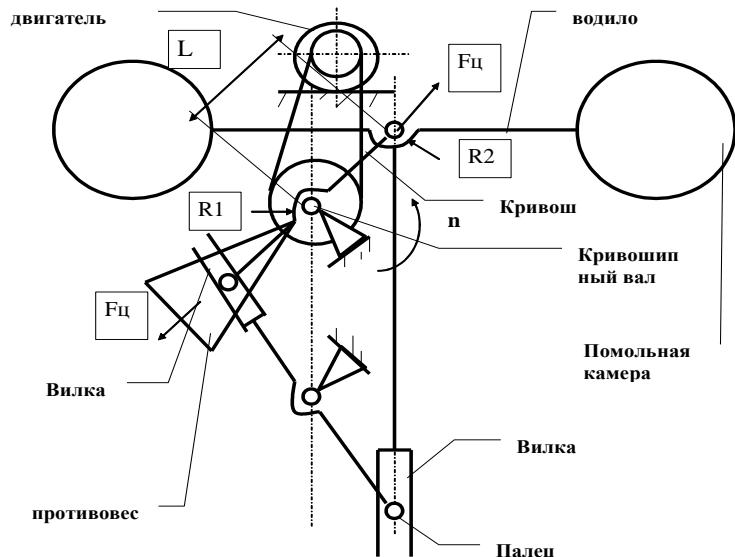


Рисунок 2 – Схема центробежно–гирационной мельницы

Из испытаний стало видно, что наиболее слабыми местами мельницы являются вилка и особенно палец и паз, в который он входит. Они подвержены быстрому износу. Эти элементы необходимо изготавливать из высокопрочных сталей и обеспечивать хорошую смазку.

## Список литературы

- Государственная программа по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан на 2010–2014 годы.

2. <https://www.syl.ru/article/300577/kazakhstan-poleznyie-iskopraemyie-i-ih-zapasyi>.
3. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. – М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1972. – 240 с.
4. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1985. – 285 с.
5. Ходаков Г.С. Физика измельчения. – М.: Наука, 1972. – 308 с.
6. П РК 6175 б. № 6, 15.06.2001. Центробежно-кулисная одновальная мельница / Е.С. Аскаров.
7. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. – М.: Химия, 1977. – 368 с.
8. Аскаров Е.С. Центробежно-гирационные динамически уравновешенные мельницы // Новости науки Казахстана: Науч.-техн. сб. - Казгос ИНТИ. – 1998. - № 6. – С. 23-25.

Получено 18.04.2018

---

УДК 007, 621.391

**А.Е. Бакланов, С.В. Григорьева, К.А. Елеусизова, М.А. Пронина**

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

**РАЗРАБОТКА СВЕТОДИОДНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ С ФУНКЦЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ  
НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ VLC**

*В данной статье изучаются амплитудно-частотные характеристики светоизлучающих диодов видимого света, принцип их действия и технические характеристики, необходимые для построения сетей с использованием технологии VLC.*

*Осы мақалада жарық сәулө шығару жарық диодтарының амплитудалық-жүйліктердің сипаттамаларын, олардың әрекет ету қағидағын және VLC технологиясын қолданып, жөліперді құру үшін қажетті техникалық сипаттамалары зерттеледі.*

*In this paper, we study the amplitude-frequency characteristics of light-emitting diodes of visible light, the principle of their action and the technical characteristics necessary for constructing networks using VLC technology.*

**Ключевые слова:** сети, передача данных, прием данных, светодиоды, Li-Fi, VLC, осветительный прибор, программное обеспечение.

В настоящее время Wi-Fi является наиболее широко используемой технологией передачи данных. Ее использование помогает настроить локальные компьютерные сети и позволяет подключать и передавать данные на мобильные устройства. Однако технология имеет ограничения на скорость передачи данных, связанную с длиной волны электромагнитного излучения. Основываясь на медиальных исследованиях, интенсивность излучения вблизи маршрутизатора, при условии, что подключено большое количество пользователей, может иметь вредное воздействие на здоровье человека. Одним из способов улучшить характеристики передачи данных в беспроводных сетях может быть использование оптического диапазона длин волн. Это стало возможным благодаря появлению белых светодиодов, используемых для освещения. С 2011 года быстро развивается новая технология VLC (Visible Light Communication - связь по видимому свету), позволяющая источнику света не только освещать комнату, но также передавать информацию с использованием того же самого светового сигнала [1]. VLC использует видимый свет в оптическом спектре (около 400-800 ТГц). Эта технология может использовать люминесцентные лампы для сигнализации со скоростью около 10 Кбит/с или светодиоды для сигнализации со скоростью около 500 Мбит/с. В статье описывается прототип беспроводной сети передачи данных нового поколения Li-Fi (Light Fidelity или Light-based Wi-Fi) на основе светодиодной системы, используемой для освещения комнаты.

С 2011 года Харальд Хаас, специалист по оптической беспроводной передаче данных и профессор Эдинбургского университета (Эдинбург, Соединенное Королевство), серьезно продвигал новую технологию беспроводной передачи данных через мигающий светодиод [2, 3]. В то время большинство университетских профессоров решили, что идея определенно интересна, но вряд ли реализуема. Спустя четыре года Хаас создал первый маршрутизатор, который работает в соответствии с его концепцией. Эта технология получила название Li-Fi. Новый маршрутизатор показал удивительные возможности. Он превзошел Wi-Fi в скорости в 100 раз. Новый маршрутизатор достиг рекордной передачи данных при 224 Гбит/с в лабораторных условиях. Тест был проведен эстонской компанией Velmenni в лаборатории. Хаас предоставил свой первый маршрутизатор - батарею на солнечных батареях, чтобы сделать сетевой доступ в автономном режиме. В настоящее время маршрутизатор имеет стабильную скорость передачи данных со скоростью 10 Гбит/с за счет едва заметного мигания L.E.D [4].

Чтобы доставить первые серийные системы на европейский рынок, изобретатель Li-Fi Харальд Хаас объединил свою чистую компанию с компанией Lucibel для коллективного развития и эффективного продвижения инноваций ближе к среднему потребителю, чтобы сделать Li-Fi главным способом доступа к сети для пользователей.

Ядро технологии работает по следующей схеме. Три цветовых канала миниатюры L.E.D. (красный, зеленый и синий) передают данные параллельно до 3,5 Гбит/с. В результате мы можем получить 10 Гбит/с. Включение или выключение света происходит с головокружительной скоростью, что создает огромную совокупность двоичных данных.

Это называется цифровой модуляцией с ортогональным мультиплексированием с частотным разделением (OFDM) и позволяет передавать миллионы световых лучей с различной интенсивностью в секунду. Профессор Хаас демонстрирует это с примером душевой головки, которая носится строго параллельно, свет в системе Li-Fi работает так же.

Между тем китайские и немецкие исследователи заинтересовались исследованием этой темы. Еще в 2011 году немцы смогли достичь передачи данных с рекордной скоростью 800 Мбит/с на расстоянии 1,8 м, а китайцы подключили 4 компьютера к интернету со скоростью 150 Мбит/с. Профессор Хаас подчеркнул, что технология световых волн более надежна с точки зрения безопасности, чем Wi-Fi. Известно, что сеть Wi-Fi легко взломать снаружи и перехватить файлы, поскольку радиоволны проходят через стены за пределами помещений.

Тем временем Li-Fi теоретически может быть использовано только в том случае, если вы находитесь в той же комнате, где расположены передатчик и приемник, поскольку свет не может проходить через стены. Таким образом, для нарушителей установлен надежный барьер, они не смогут взломать или перехватить что-либо ни с улицы, ни даже из соседней комнаты. Но в первую очередь преимущество Li-Fi заключается в высокой скорости и низком потреблении энергии (в лучшем случае эффективность стандартных маршрутизаторов достигает 5%).

Определенно, есть перспективы в будущем для этой технологии. Видимые световые волны имеют очень широкую полосу частот, она в 4 раза шире, чем радиоволны. Не существует риска перегрузки сетей, не теряется ни скорость, ни производительность сети, как Wi-Fi [5].

Светодиоды широко распространены. Инфраструктура почти есть, и кроме того, светодиоды могут выполнять одновременно две роли - передатчика данных и источника света. Но есть еще вопрос: насколько корректна работа системы в освещенной комнате или в условиях яркого солнечного света? Тем не менее, разработчики возлагают большие надежды на VLC для передачи данных с использованием видимого света [6].

Высокая скорость передачи данных Li-Fi уже позволяет успешно передавать видеопотоки в формате HD, сохраняя при этом высокую энергоэффективность системы [7]. Еще

одно преимущество перед Wi-Fi - это точность и стабильность при подключении к интернету внутри зданий. Проблема слабой и прерывистой области сигнала решена благодаря расположению распределенных светодиодных передатчиков [8].

В большинстве статей, посвящённых передачи данных с использованием видимого света, приводится общая схема работы технологии VLC и Li-Fi. Однако принципиальные схемы приводятся редко. Обычно принципиальные схемы подробно не описываются и их работа не обсуждается. В данной статье подробно описана схема передачи звукового сигнала с помощью белого светодиода, используемого в системах освещения.

Структурная схема передачи данных с использованием светодиодного осветительного прибора представлена на рис. 1. Передающий блок системы состоит из трёх частей:

1. Блок 1 - подготовка данных в определённом формате. Мы используем микроконтроллер STM 32, позволяющий согласовать сигнал, поступающий с персонального компьютера (ПК), с системой управления освещением.
2. Блок 2 - управление освещением. Это может быть стандартный драйвер, собранный на основе микросхем MAX16800 или LM3404HV, поддерживающий режим диммирования. Также можно использовать и схему управления (рис. 2).
3. Блок 3 - светодиодный светильник 3 (СДС), используемый нами в наших экспериментах, состоящий из 4 светодиодных лент, каждая из которых включает в себя 8 последовательно соединенных светодиодов фирмы Nichia мощностью 1 Вт.

Принимающий блок также состоит из трёх частей: фотоприёмник 4 на основе линейки фотодиодов, далее усилитель сигнала с фильтром высоких и низких частот 5 и устройство согласования 6. Мы также используем микроконтроллер STM 32.

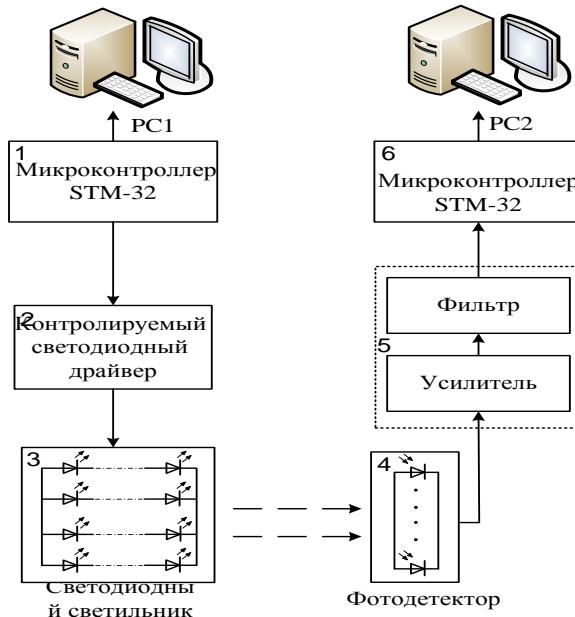


Рисунок 1 - Структурная схема системы передачи данных на основе технологии VLC

Для демонстрации работы и тестирования такой схемы нами был создан макет, принципиальная схема которого показана на рис. 2.

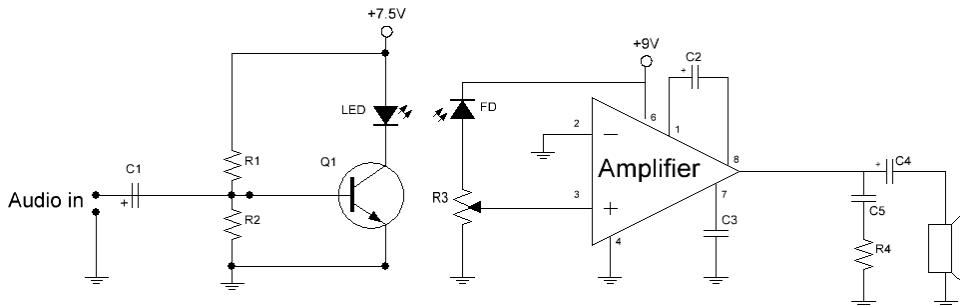


Рисунок 2 - Принципиальная схема устройства передачи звука с помощью белого светодиода

В данной схеме в качестве управления светодиодом мы использовали усилитель, собранный на транзисторе Q1, обеспечивающий необходимый ток для LED. Мы работали с транзистором BC337 (первоначально с транзисторами 2N2222A, 2N4401). Для транзистора BC337 номиналы элементов схемы были следующие: C1=2,2 $\mu$ F, R1=4,7k $\Omega$ , R2=1k $\Omega$ . Использовался светодиод фирмы Nichia (NCSL219B) с номиналом 1 Вт. Светотехнические характеристики светодиода были нами ранее достаточно хорошо изучены, и данный светодиод использовался нами при проектировании светильников и монтаже светодиодной системы для освещения офисных помещений [9].

Исследования частотных характеристик данного светодиода показали, что для частоты сигнала 250 кГц сигнал не изменяется по амплитуде. Далее на частоте 3,4 МГц наблюдается спад от исходного сигнала до уровня 3дБ. Это означает, что передача данных с помощью этого светодиода в системах освещения будет ограничена скоростью 3,2 Мбит/с.

В приёмном тракте использовался фотодиод BPW34S. После фотодиода сигнал усиливается с помощью усилителя, собранного на микросхеме LM386. Номиналы элементов данного усилителя следующие: C2=10 $\mu$ F, C3=0,1 $\mu$ F, C4=250 $\mu$ F, C2=0,05 $\mu$ F, R3=10k $\Omega$ , R4=10k $\Omega$ . Для нормальной работы приведённой выше схемы необходимо производить включение в комнате без естественного освещения, чтобы убрать наводки питания осветительных приборов. Так, при ярком солнечном свете не удавалось осуществлять передачу данных.

Если вход и выход данной схемы подключить к микроконтроллерам (рис. 1), то происходит передача звука в реальном времени с одного компьютера ПК1 на другой ПК2.

Для организации передачи звука с одного персонального компьютера на другой нами использовался микроконтроллер STM32F4 Discovery. Для передающего канала использовался USB-вход, сигнал из которого преобразовывался с помощью 24-разрядного цифроаналогового преобразователя и поступал на вход схемы управления светодиодом.

Для принимающего канала использовался порт ввода-вывода. Сигнал на порт поступал с усилителя после фильтра низких частот C4. Далее сигнал отцифровывался и передавался через USB на персональный компьютер. Общая структурная схема платы STM32F4 Discovery приведена на рис. 3. Выбор данной платы для проведения эксперимента был обусловлен тем, что такая сборка имеет все необходимые компоненты для работы со звуком: аналоговый порт ввода-вывода, 24-разрядный цифроаналоговый преобразователь, соединенный с аудиоразъемом, USB-порт для обмена данными с компьютером. Кроме этого, данная плата имеет низкую стоимость (меньше 10 долларов).

Программа управления микроконтроллером была стандартной. Примером является реализация, выполненная в статьях [9, 10]. При воспроизведении звука в реальном времени с использованием микроконтроллеров искажения практически отсутствовали. Однако

детальных исследований частотных характеристик приемо-передающего канала связи на основе белого света, изложенного в этой работе, не проводилось.

Внешний вид макета, собранного по схеме (рис. 1), показан на рис. 4.

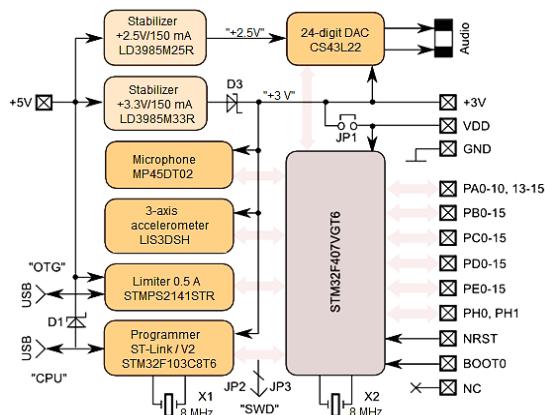


Рисунок 3 - Структурная схема STM32F4 Discovery



Рисунок 4 - Внешний вид макета установки

Для контроля качества звука использовались наушники, а для анализа частотных характеристик светодиодов, программирования микроконтроллера и осуществления контроля работы всей схемы использовался ноутбук.

В работе продемонстрирована передача данных (звука) с одного компьютера на другой с использованием технологии VLC, при этом реализация передачи осуществлена с использованием простой схемы и распространённой элементной базы. Для организации сети передачи данных необходимо использовать протоколы передачи данных, например TCP/IP, а на физическом уровне описанную выше систему, использующую микроконтроллеры. Для повышения скорости передачи данных необходимо использовать модуляцию каждого цвета белого светодиода. При этом в качестве передающего принимающего тракта сети требуются аппаратные средства, поддерживающие более высокие частоты. Так, для высоких частот порядка 100 МГц чувствительность светодиода падает на 12-13 дБ. Это обстоятельство говорит о том, что для передачи данных необходимо использовать более мощные светодиоды или несколько светодиодов параллельно.

Данная работа предназначена для людей, проводящих эксперименты по передаче данных с помощью светодиодов белого света.

#### Список литературы

1. N. Kumar, D. Terra, N. Lourenço, L. N. Alves, and R. L. Aguiar, —Visible light communication for intelligent transportation in road safety applications, || in Proc. 7th Int. Wireless Commun. Mobile Comput. Conf, pp. 1513 – 1518, 2011
2. Ravi Prakash, Prachi Agarwal “The New Era of Transmission and Communication Technology : Li-Fi (Light Fidelity) LED & TED Based Approach”, International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) Volume 3, Issue 2, February 2014
3. [https://www.ted.com/talks/harald\\_haas\\_wireless\\_data\\_from\\_every\\_light\\_bulb/transcript](https://www.ted.com/talks/harald_haas_wireless_data_from_every_light_bulb/transcript).
4. [https://www.ted.com/talks/harald\\_haas\\_a\\_breakthrough\\_new\\_kind\\_of\\_wireless\\_internet/transcript](https://www.ted.com/talks/harald_haas_a_breakthrough_new_kind_of_wireless_internet/transcript).
5. Jitender Singh, Vikash “A New Era in Wireless Technology using Light-Fidelity” International Journal of Recent Development in Engineering and Technology ISSN 2347-6435(Online) Volume 2, Issue 6, June 2014.

6. R.Karthika, S.Balakrishnan "Wireless Communication using Li-Fi Technology" SSRG International Journal of Electronics and Communication Engineering (SSRG-IJECE) volume 2 Issue 3 March 2015.
7. Dinesh Khandal, Sakshi Jain "Li-Fi (Light Fidelity): The Future Technology in Wireless Communication" International Journal of Information & Computation Technology. ISSN 0974-2239 Volume 4, Number 16 (2014)
8. Shubham Chatterjee, Shalabh Agarwal, Asoke Nath Scope and Challenges in Light Fidelity(LiFi) Technology in Wireless Data Communication International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJRAE) ISSN: 2349-2163 Issue 6, Volume 2 (June 2015)
9. Воспроизведение звука на STM32-Discovery при помощи Speex. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://we.easyelectronics.ru/STM32/vospriozvedenie-zvuka-na-stm32-discovery-pri-pomoschi-speex.html>
10. Воспроизведение звука на STM32F4Discovery. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://microtechnics.Ru/vospriozvedenie-zvuka-na-stm32f4discovery/>.
11. Grigoryeva S., Baklanov A., Gyorok Gy. Control of LED Lighting Equipment with Robustness Elements // Acta Polytechnica Hungarica. – Budapest.2016. – v.13, № 5. – pp.105–119.

Получено 18.04.2018

---

УДК 331.107.266

**С.Г. Бисакаев, С.Т. Омарова, Г.С. Сактаганова**

РГКП «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда  
Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан», г. Астана

#### РОЛЬ ФИНАНСОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ОХРАНЕ ТРУДА

*В статье представлена актуальность финансирования в обеспечении безопасности и охраны труда. С целью снижения травматизма на производстве на каждом предприятии должна проводиться работа по планированию и финансированию мероприятий по охране труда. Выделены подходы в вопросах финансирования в область безопасности и охраны труда. Отмечено, что затраты по финансированию в охрану и безопасность труда будут многократно компенсированы значительным потоком доходов в будущем.*

*Мақалада еңбекті қорғау және қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін қаржыландаудың өзектілігі көрсетілген. Әрбір кесілорынның өндіріс орнында жаракаттануды тәмендегі мақсатында еңбек қорғауды жостарлау және қаржыландау бойынша шаралар жүргізілуі қажет. Еңбекті қорғау және қауіпсіздік саласында қаржыландау мәселелері бойынша тәсілдер көрсетілген. Еңбекті қорғау мен қауіпсіздікті қаржыландаурауга жұмысалатын шығындар болашақта айтартылғайтың кіріс ағыны арқылы бірнеше рет етепелетіні атап етілемеді.*

*The article presents the relevance financing to ensure safety and labor protection. In order to reduce injuries in the workplace, every enterprise must work on planning and financing labor protection measures. Approaches to financing in the field of safety and labor protection are highlighted. It is noted that the costs of financing for labor protection and safety will be compensated many times by a significant flow of income in the future.*

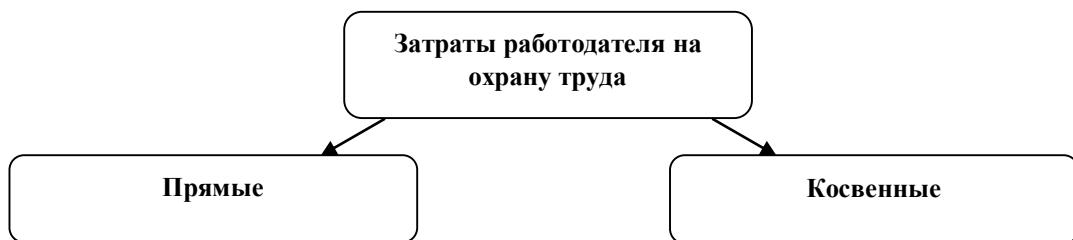
**Ключевые слова:** финансирование, безопасность, охрана труда, мероприятия.

На современном этапе научно-технического прогресса одним из важнейших приоритетов является повышение компетентности работников в области охраны труда, формируемой конкретной деятельностью предприятия или организации. Разработка и использование механизма планирования и финансирования мероприятий по улучшению условий и охраны труда является необходимой и обязательной частью плановой работы предприятия или организации, независимо от форм собственности, масштабов деятельности и видов выпускаемой продукции. Одно из основных препятствий для реализации прав ра-

ботников на безопасные и здоровые условия труда - недостаточное финансирование. В связи с относительно высоким уровнем производственного травматизма, который влечет за собой социальные и экономические потери, вопросы финансирования охраны труда являются весьма актуальными для нашей страны. Как избежать или минимизировать материальный ущерб от несчастных случаев, профессиональных заболеваний вследствие нарушений требований охраны труда?

Международная организация труда (далее - МОТ) ставит своей целью обеспечить всем людям право на свободный, достойный и безопасный труд, в том числе и право на здоровые и безопасные условия труда [1]. МОТ стремится реализовать комплексный подход, позволяющий свести воедино все усилия и действия, направленные на повышение эффективности предпринимаемых социальными партнерами мер по безопасности и охране труда, включая нормотворческую деятельность, своды правил и руководства, международное техническое содействие, анализ статистических данных и распространение информации.

В этой связи финансирование в капитал здоровья посредством страхования и прочих мер является базой для человеческого капитала вообще, так как таким образом замедляется физический износ человеческого капитала и продлевается трудоспособный отрезок жизни человека.



Затраты по обеспечению выполнения государственных нормативных требований по охране труда относятся к основным затратам и являются прямыми затратами. Прямые затраты, направленные на реализацию мероприятий по охране труда, включают капитальные вложения и текущие расходы.

*К капитальным вложениям* относятся единовременные затраты на создание основных фондов для улучшения условий и охраны труда (их состав должен соответствовать основным направлениям проводимых или планируемых мероприятий), а также на совершенствование техники и технологии в целях улучшения условий труда и обеспечения его безопасности.

*К текущим расходам* относятся:

- дополнительные текущие расходы на содержание и обслуживание зданий, сооружений, оборудования, вызванные его совершенствованием в целях улучшения условий труда и предотвращения травматизма и обеспечивающие безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов, а также применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов;

- затраты на подтверждение соответствия производственных объектов и продукции государственным нормативным требованиям охраны труда.

Расходы на функционирование системы управления охраной труда (СУОТ), в том числе:

- затраты на средства индивидуальной и коллективной защиты работников, смыкающие средства, в том числе:

- затраты на обеспечение работников по установленным нормам молоком или другими равноценными пищевыми продуктами (или на соответствующие компенсационные выплаты);
- расходы на обязательные медицинские мероприятия;
- затраты на санитарно-бытовое обслуживание и медицинское обеспечение работников, в том числе:
  - расходы на обучение, повышение квалификации и профессиональную переподготовку работников, в том числе затраты на обучение:
  - затраты на проведение специальной оценки условий труда (СУОТ);
  - расходы на обязательное социальное страхование работников от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
  - затраты на гарантии и компенсации работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда;
  - расходы, связанные с уплатой дополнительных тарифов, взносов в ПФР;
  - расходы на принятие мер по предотвращению аварийных ситуаций, сохранению жизни и здоровья работников при возникновении таких ситуаций, в т.ч. по оказанию пострадавшим первой помощи;
  - затраты на расследование и учет несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в порядке, установленном ТК РК, другими законами и иными нормативными правовыми актами РК;
  - расходы на выполнение предписаний должностных лиц органов государственного надзора.

Конкретный перечень обязательных затрат работодателя разрабатывается на основе вышеуказанных сведений с учетом специфики деятельности организации.

Основная задача работодателя заключается в делегировании обязанностей по исполнению каждого конкретного комплекса мероприятий должностному лицу (специалисту) необходимого уровня квалификации и обеспечении функционирования СУОТ [2]. Только такой подход обеспечит минимизацию финансовых вложений в обязательные мероприятия по охране труда. Косвенные затраты на охрану труда возникают у работодателя, как правило, если он не выполняет требования, установленные законодательством РК в этой области, и если с его работниками происходят несчастные случаи (или возникают профессиональные заболевания).

С экономической точки зрения расходы на охрану труда являются инвестициями, поэтому эти расходы должны осуществляться с целью получения в дальнейшем значительной выгоды. Ценность таких инвестиций, как правило, значительно выше, чем предполагается изначально, и не только в связи со скрытой и долгосрочной выгодой для здоровья и благосостояния работников, но также ввиду способности предприятий использовать новшества, которые одновременно повышают качество продукции (услуг), сокращают расходы и улучшают условия труда.

В условиях производства комплексную систему защиты работников от несчастных случаев и профессиональных заболеваний составляют мероприятия по охране труда, которые можно определить как совокупность действий правового, экономического, социального, технического, гигиенического, лечебного, профилактического и профессионального реабилитационного характера, направленных на выполнение нормативных требований безопасности и гигиены труда в целях обеспечения безопасности жизни, сохранения здоровья и работоспособности работников в процессе трудовой деятельности. Для каждого предприятия безопасные и здоровые условия труда имеют большое социальное и экономическое значение. Соблюдение требований охраны труда и техники безопасности способствует

повышению производительности труда и сокращению материальных затрат, которые могут возникнуть в результате несчастных случаев и профессиональных заболеваний.

Таким образом, планирование мероприятий по охране труда направлено на предупреждение несчастных случаев на производстве, профессиональных заболеваний, улучшение условий труда и санитарно-бытового обеспечения работников предприятия или организации. Механизм планирования и финансирования мероприятий по охране труда должен проходить ежегодно и представлять собой организационный управленческий процесс, осуществляемый с целью обеспечения безопасных условий труда работников на основе эффективного использования средств, выделяемых на улучшение условий и охраны труда. Главная цель любого работодателя - это получение прибыли и устойчивое функционирование организации с затратами, сведенными к минимуму. Финансирование мероприятий по улучшению условий труда способствует повышению качества выпускаемой продукции и увеличению производительности труда. Для этого сначала необходимо рассмотреть источники финансирования охраны труда. При планировании и финансировании мероприятий по улучшению условий и охраны труда работодателю следует учитывать государственные нормативные требования охраны труда, зафиксированные во всех видах правовых актов, а также межотраслевые правила и отраслевые нормативные правовые акты по охране труда.

В соответствии с положениями действующего законодательства источниками финансирования мероприятий по охране труда могут являться:

- средства целевого финансирования;
- собственные средства организаций, оставшиеся в их распоряжении после уплаты налога на прибыль;
- средства социального страхования, включая средства обязательного страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- средства организации, принимаемые в целях налогообложения по налогу на прибыль.

В Казахстане порядок финансирования мероприятий по охране труда определен п. 3 ст. 180 Трудового кодекса Республики Казахстан (далее – ТК РК), а именно осуществляется за счет средств работодателя и других источников, не запрещенных законодательством Республики Казахстан. При этом работники не несут расходов на эти цели. Объем средств определяется актом работодателя или коллективным договором [3].

Финансирование мероприятий по охране труда может осуществляться из нескольких источников в зависимости от характера этих мероприятий. Это могут быть средства государственного бюджета, бюджетов субъектов республики, местных бюджетов, внебюджетных источников [4].

Финансирование мероприятий по охране труда в промышленно развитых странах Запада осуществляется в основном за счет частных предприятий, государства или его отдельных регионов и системы социального страхования. Во многих странах экономические стимулы со стороны государства обрели форму субсидий. Например, при приобретении новых безопасных видов оборудования, а также сырья, не оказывающего вредного и опасного воздействия на здоровье работников, как это сделано в Канаде. В ряде европейских стран предусмотрены налоговые скидки и другие способы поощрения предприятий, принимающих меры по улучшению охраны труда. Это авансовые выплаты или предоставление грантов для осуществления предупредительных мероприятий, частичная компенсация затрат при реализации мер в области охраны труда, исключение из суммы прибыли расходов на улучшение охраны труда, как это предусмотрено, например, в Португалии. Вместе с тем, за границей бизнесменов финансово стимулируют на создание безопасной среды для сотрудников. Например, в скандинавских странах государство со-

трудничает только с теми компаниями, где высокий уровень охраны труда.

Экономические потери в связи с неудовлетворительным состоянием охраны труда складываются из экономических потерь от несчастных случаев, профессиональных заболеваний и воздействия неблагоприятной производственной обстановки. Изучение структуры экономических потерь позволяет направить денежные и материальные ресурсы на выполнение тех мероприятий, которые обеспечивают снижение травматизма и заболеваемости и устранение различных опасных и вредных производственных факторов.

Экономический подход к оценке мероприятий по охране труда необходим, но в ряде случаев не является решающим, так как забота о сохранении жизни и здоровья работающих не может ограничиваться только соображениями экономической выгодности. Финансирование мероприятий по охране труда должно осуществляться и в случае высоких экономических затрат. Поэтому оценка мероприятий по улучшению условий труда, уменьшению травматизма и профзаболеваний осуществляется комплексно по социальной и экономической эффективности. Под экономической эффективностью понимается размер экономических выгод, связанных с внедрением мероприятий по охране труда. Социальная эффективность мероприятий определяет степень улучшения производственной обстановки. Она связана с психофизиологическими аспектами труда, экономической заинтересованностью трудающихся, повышением общественной значимости труда и производственной активности [5].

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что финансирующий мероприятия по улучшению условий и охраны труда (не только в обязательном порядке, но и добровольно) достигает ряда положительных результатов: повышение качества выпускаемой продукции или оказываемых услуг, рост производительности труда работников, уменьшение трудоемкости при производстве продукции, сокращение потерь, связанных с производственным травматизмом и профессиональными заболеваниями (увеличение фонда рабочего времени, сокращение затрат на компенсации) и т.д.

Таким образом, экономический механизм управления охраной труда представляет собой совокупность различных принципов, методов и средств материального стимулирования работодателей в создании безопасных и безвредных условий труда, повышении культуры производственной среды.

#### Список литературы

1. Международная организация труда. – Режим доступа: <http://www.ilo.org/global/lang--en/index.htm>.
2. Абдугалиева Г.Ю. Повышение промышленной безопасности на актюбинском заводе ферросплавов путем внедрения эффективной системы управления охраной труда / Г.Ю. Абдугалиева, М.К. Имангазин, А.Н. Шурина // Горный журнал Казахстана. – 2015. - № 6. – С. 40-42.
3. Трудовой кодекс Республики Казахстан от 23 ноября 2015 года № 414-V (с изм. и доп. по состоянию на 30.11.2017 г.).
4. Какауллин С.П. Экономика безопасного труда. – М.: Альфа-Пресс, 2007. – 202 с.
5. Черкасская Г.В. Теоретические основы организации и управления системой социальной защиты: автореф. дис. ...д-ра экон. наук. - Санкт-Петербург, 2010. – 16 с.

Получено 18.04.2018

---

---

УДК 331.456

**С.Г. Бисакаев, Н.Г. Джумагулова**

РГКП «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан», г. Астана

**ОБ АКТУАЛИЗАЦИИ СПИСКА РАБОТ, НА КОТОРЫХ ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРИМЕНЕНИЕ ТРУДА ЖЕНЩИН**

*В настоящей статье представлены результаты анализа правовых и административных барьеров для занятости женщин и ограничений, связанных с трудоустройством женщин в различных отраслях экономики Республики Казахстан, посредством применения списка работ, на которых запрещается применение труда женщин. Предложены мероприятия, направленные на максимальное достижение основных направлений положений Конвенций МОТ, ратифицированных Казахстаном в части уменьшения разницы в оплате труда мужчин и женщин, одной из причин которой является законодательно закрепленные ограничения трудоустройства женщин на отдельные профессии и виды работ.*

*Мақалада әйелдердің еңбекін пайдалануға шектеу қойылатын жұмыстардың тізімін қолдана отырып Қазақстан Республикасы экономикасының түрлі салаларына әйелдердің жұмысқа орналасуына байланысты шектеулер мен құқықтық және әкімшілік кедергілерді талдау нәтижелері ұсынылды. Ерлер мен әйелдерге еңбекақы тәлеудегі айырмашылықты азайту бөлігіндө, оның себептерінің бірі жекелеген көсіптер мен жұмыс түрлеріне әйелдерді жұмысқа орналастыру заңнамалық бекітілген шектеулері болып табылатын, Қазақстанда ратификациялаған ХЕҰ Конвенциялары ережелерінің негізінде базытарына барынша қол жеткізуға негізделген ісшаралар кешені ұсынылды.*

*This article presents the results of an analysis of legal and administrative barriers to women's employment and restrictions related to the employment of women in various sectors of the economy of the Republic of Kazakhstan, through the use of lists. The measures aimed at the maximum achievement of the main directions of the provisions of ILO Conventions, ratified by Kazakhstan in terms of reducing the wage gap between men and women, one of the reasons for which is the legislatively fixed restrictions on the employment of women in certain professions and types of work are proposed.*

**Ключевые слова:** труд женщин, условия труда, запрет, список.

Для современного Казахстана, наряду с достигнутыми успехами, сохраняют актуальность проблемы, в которых регистрируются высокие гендерные разрывы и дисбалансы, в том числе в социально-трудовой сфере, что по международным оценкам может отразиться на конкурентоспособности национального человеческого капитала.

Женщины по-прежнему составляют более 70% наемных работников в сфере здравоохранения, образования и социальных услуг, чуть больше половины - в финансовом и государственном секторах. Отметим, что данные виды секторов менее доходны по сравнению с «мужскими отраслями», такими как строительство, нефтегазовый сектор, добывающие производства, транспорт и т.д.

Весьма незначителен вклад женского труда в инновационных, инфраструктурных и высокотехнологичных программах, в частности в рамках реализации государственной программы инфраструктурного развития «Нұрлы жол» женщины занимают 11% рабочих мест.

Анализ международных источников показывает, что наличие ограничений для женщин в выборе профессии значительно сокращает их зарплатный потенциал относительно мужчин (рис. 1) [1].

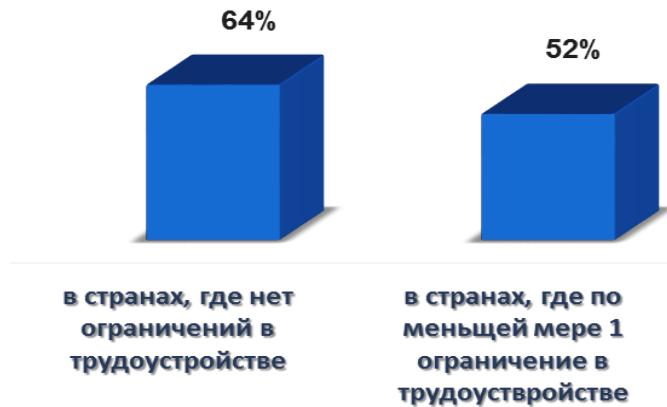


Рисунок 1 - Соотношение расчетного трудового дохода женщин и мужчин по результатам исследований проекта «Женщины, бизнес и закон»

Разрыв в заработной плате между работниками мужчинами и женщинами менее значителен там, где отсутствуют ограничения на трудоустройство женщин (64%), в то же время женщины зарабатывают практически в два раза меньше, чем мужчины, в странах, где существует, по меньшей мере, одно ограничение в трудоустройстве.

По оценкам международных экспертов запрет трудоустройства на работы с тяжелыми и опасными условиями труда для женщин в Республике Казахстан негативно влияет на их доступ к высокооплачиваемым профессиям, а действующий список работ, на которых запрещается применение труда женщин (далее - список), по сравнению с аналогичными в странах СНГ, является одним из самых обширных [1-3].

Ограничения на использование женского труда приводят к профессиональной сегрегации и концентрации женщин в низкооплачиваемых отраслях и сферах деятельности. Действительно, многие из рабочих мест, на которые запрещено трудоустраивать женщин, находятся в высокооплачиваемых отраслях, таких как добыча полезных ископаемых и обрабатывающая промышленность. Это имеет реальные последствия с точки зрения потенциальных заработков женщин.

На сегодняшний день размер средней заработной платы женщин в Республике Казахстан составляет около 67% от заработной платы мужчин, что негативно сказывается на уровне жизни одиноких женщин, женщин, самостоятельно воспитывающих детей, и отразится на размерах их будущих пенсий. Данные ограничения также могут негативно сказываться на компаниях и общей конкурентоспособности экономики, поскольку резерв квалифицированных кандидатов на вакантные должности искусственно сокращается вдвое, что снижает вероятность найма наиболее компетентных людей [1].

Анализ правовых и административных барьеров для занятости женщин показал наличие ограничений, связанных с трудоустройством женщин в различных отраслях экономики, путем применения списков и перечней в Российской Федерации, Республике Беларусь, Украине, Азербайджане, Армении, Таджикистане, Киргизстане, Республике Молдова и др. (см. табл.) [4-6]. Также женщинам в этих странах запрещены работы, связанные с подъемом и перемещением тяжестей вручную выше лимитированного количества килограммов, динамической работы или нагрузки, а также предусмотрен ряд ограничений для занятости беременных женщин.

*Анализ нормативных правовых актов, применяемых при регулировании занятости женщин в тяжелых, вредных и (или) опасных условиях труда в странах Евразийского экономического союза*

Страна	Республика Казахстан	Российская Федерация	Республика Беларусь	Республика Кыргызстан
Вид документа. Дата последнего пересмотра	Список С 1999 года из списка были исключены 126 наименований профессий и работ	Перечень Содержание не менялось с 1978 г.	Список При пересмотре в 2014 г. сокращен с 252	Перечень При пересмотре в 2012 г. вид и подача документа изменены. Сокращения не проведено
Отрасли/Виды деятельности	25	37	13	Нет разделения
Виды работ	40	76	94	304
Профессии	287	456	181	402

Концепцией гендерной и семейной политики в Республике Казахстан до 2030 года, утвержденной указом президента Республики Казахстан от 6 декабря 2016 года № 384, предусмотрены пути решения данной проблемы, а в качестве целевого индикатора принято увеличение средней заработной платы женщин к заработной плате мужчин, которая должна составить: в 2020 году 70%, в 2023 году - 73%, в 2030 году - 75%. Для достижения поставленной цели необходимо обеспечить расширение участия женщин в экономике через создание равного доступа к рынку труда, финансовым и иным ресурсам.

В связи с этим необходимо осуществить пересмотр списка и обеспечить женщинам доступ к видам работ, не представляющим опасности для женского здоровья в силу их автоматизации, технологизации и информатизации, с учетом изменений технологического процесса. На сегодняшний день существует довольно малое число профессий, где, при соблюдении необходимых мер защиты, производственная среда более опасна или вредна для женщин, чем для мужчин.

В рамках выполнения плана мероприятий по реализации концепции гендерной и семейной политики в Республике Казахстан до 2030 года республиканским НИИ по охране труда Министерства труда и социальной защиты Республики Казахстан были проведены аналитические исследования по теме «Совершенствование механизма регулирования труда женщин во вредных условиях труда в Республике Казахстан» [2]. Целью исследований являлось изучение международного правового опыта регулирования труда женщин для обеспечения равных прав и равных возможностей мужчин и женщин в сфере труда и выработка предложения по совершенствованию законодательства по регулированию вопросов занятости женщин во вредных и (или) опасных условиях труда.

В целях актуализации списка были разработаны критерии, учитывающие противопоказания к трудуоустройству женщин репродуктивного возраста, признанные в профессиональной гигиене и связанные с:

- физическим напряжением, подъемом и переноской тяжестей, носящих постоянный характер;
- повышенной опасностью острого отравления и специфического воздействия ядов и потенциально опасных химических веществ, влияющих на репродуктивную функцию женского организма;
- воздействием облучения, давления, а также высоких температур, влияние которых

невозможно уменьшить до допустимого уровня;

- воздействием общей и локальной вибрации, превышающей допустимые уровни;
- а также с возможностью возникновения перечисленных вредных факторов в сочетании с повышенной опасностью для здоровья и риском для жизни.

Вместе с тем критерии разработаны с учетом законодательного регулирования регламентации режимов труда для сокращения времени воздействия вредных факторов посредством организации перерывов в работе, а также в соответствии с требованиями санитарных норм и правил при работе с инструментом, механизмами и оборудованием.

В ходе актуализации списка были предприняты следующие шаги:

- проанализированы наименования профессий на предмет соответствия единым тарифно-квалификационным справочникам;
- изучены материалы аттестации и наличие вредных производственных факторов на рабочих местах профессий, указанных в списке, в соответствии с разработанными критериями;
- изучена степень модернизации и автоматизации на рабочих местах, указанных в списке профессий.

В результате были даны предложения по исключению отдельных профессий и видов работ из списка, который в итоге сокращается на 96 наименований профессий (что составило 33%), в том числе на 3 подраздела из 25 и 5 видов работ из 41 (рис. 2).

Как видно из диаграммы (рис. 2), наибольший объем предложенных для исключения наименований профессий обоснован не отсутствием вредных производственных факторов на рабочих местах, а возможностью минимизировать до допустимых значений их воздействие на организм путем применения средств коллективной и индивидуальной защиты.

В настоящее время на всех производствах, где невозможно исключить наличие вредных производственных факторов путем изменения технологических процессов, с успехом применяются средства защиты работников, причем на основных вредных производствах, составляющих основу казахстанской промышленности, внедрены надежные, современные и эргономичные средства защиты как коллективной, так и индивидуальной.



Рисунок 2 – Количество предложенных для исключения из списка наименований профессий в разрезе обоснований

Кроме того, выявлено множество профессий, характеристика работ которых за последние десятилетия изменена в части исключения ручного труда, применения грузоподъемных механизмов, применения различных форм удаленного управления, изменения технологического процесса, исключающего использование вредного сырья, выделения в воздух рабочей зоны ядовитых газов и излучений, герметизации технологического оборудования и т.д. Отдельная часть профессий на сегодняшний день утратила свою актуальность: изменились их наименования либо произошло объединение характеристик работ. Все эти изменения отражены в различных выпусках единых тарифно-квалификационных справочников, но, тем не менее, их наименования до сих пор не были исключены из списка или актуализированы.

Проект актуализированного списка, методика и ход выполнения исследований были освещены в ходе встреч, обсуждений и круглых столов с территориальными объединениями профсоюзов, рабочими коллективами и руководством предприятий различных регионов Республики Казахстан, которые затрагивает исследуемый вопрос. Анализ результатов данных встреч, обсуждений и опросов показал позитивную реакцию на планируемые изменения в вопросах уменьшения гендерного неравенства при трудоустройстве путем сокращения списка на основании разработанных критерииев.

Таким образом, для полноценного участия казахстанских женщин в трудовых отношениях, принимая во внимание положения закона Республики Казахстан "О государственных гарантиях равных прав и равных возможностей мужчин и женщин" и Конвенции МОТ «О ликвидации всех форм дискриминации в отношении женщин» (*ратифицирована Законом Республики Казахстан от 29 июня 1998 года № 248*), было предложено сократить действующий список, чтобы обеспечить доступ большего числа женщин к высокооплачиваемым профессиям, уменьшить разрыв в заработной плате мужчин и женщин, а также расширить свободу выбора работодателей при наборе персонала.

#### Список литературы

1. Достижение равенства. Основные выводы // Женщины, бизнес и закон-2016: достижение равенства: доклад / International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank/© 2015.
2. Совершенствование механизма регулирования труда женщин во вредных условиях труда в Республике Казахстан: Отчет об аналитических исследованиях (заключит.) / РГКП «РНИИОТ МТСЗН РК»; Руководитель С. Бисакаев; Исполн. Н.Г. Джумагулова и др. – Астана, 2017. – 144 с.
3. Чеботарева А.С. Защита прав женщин в Европейском Союзе. - Государство и право.- 1995.- № 2. - С. 88-96.
4. Миронова А.В. Международно-правовое регулирование труда женщин: Дисс... канд. юр. наук: 12.00.10 / Миронова Анна Валерьевна. - Рос. ун-т дружбы народов. - Москва, 2008. - 220 с.
5. Мезенцева Е. Трудовые права в современном российском контексте (гендерный аспект). Права женщин в России: исследование реальной практики их соблюдения и массового сознания. - М.: МФФ, 1998. – Т. 1 - С. 167-216, 173.
6. Кайтмазова А.В. Правовое регулирование труда лиц, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, и проблемы его совершенствования: Дисс...канд. юр. наук: 12.00.05 / Кайтмазова Алина Владимировна. - Моск. гос. юрид. акад. - Москва, 2008. - 198 с.

Получено 18.04.2018

УДК 69.002.5 + 625.76.08 + 624.144.5

**Г.А. Гурьянов, М.В. Дудкин, А.В. Вавилов, А.И. Ким**Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
Усть-Каменогорск, Казахстан

**НАЧАЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ  
УДАРОМ ЛЬДА НА ТВЕРДОМ ПОКРЫТИИ ДОРОГ**

*В статье изложены результаты начальных экспериментальных исследований по изучению процесса разрушения ударом льда на твердом покрытии для установления взаимосвязи между параметрами и выявления закономерностей процесса разрушения льда под действием удара, которые в дальнейшем могут послужить основой для описания процесса разрушения и определения параметров рабочего органа ударного действия.*

*The article presents the results of initial experimental studies of ice destruction process by impact on hard surfaces to establish the relationship between parameters and to reveal the regularities of the ice destruction process by impact, which in future may be the basis for describing the destruction process and determining the parameters of impact action working body.*

*Мақалада соққы әсерлі жұмыс мүшелерінің параметрлерін талдауға және болашақта соққы үдерісін сипаттауға неғіз болатын параметрлер арасындағы байланысты анықтауга және ұру арқылы мұзды бұзу заңдылықтарын білуге, сонымен қатар қатқыл жол жабындарындағы мұзды бұзу үдерісін білу үшін бастапқы тәжірибелі зерттемелердің қорытындысы қарастырылған.*

**Ключевые слова:** дорога, тротуар, лед, снежно-ледяное образование, очистка, дорожные и коммунальные машины и оборудование.

В зимний период на дорогах и тротуарах может образовываться ледяной слой, существенно затрудняющий движение как транспорта, так и пешеходов [1]. Это во многом обусловлено снижением коэффициента сцепления с поверхностью дороги.

В настоящее время существует несколько способов борьбы с этим явлением [1 - 4]. Например, распределение химических реагентов, посыпание льда фрикционными материалами, механическое удаление льда.

Наиболее безвредным с экологической точки зрения и надежным по достигаемому результату является способ механического удаления льда [2, 5 - 7], поскольку в этом случае не используются экологически вредные реагенты, как при химическом методе, или сильно пылящие материалы, как при фрикционном методе, а результат сохраняется длительное время. Также механический способ удаления льда не позволяет ему скапливаться на дороге слоем большой толщины и приближает эксплуатационные характеристики дорожного покрытия к летним показателям.

При механическом способе лед и уплотненный снег удаляются с помощью специальных рабочих органов (РО) путем срезания, скальвания, удара и т.д. Наиболее эффективным способом механического разрушения льда является удар [5 - 7]. Поэтому возникает необходимость в разработке новых РО для разрушения льда на дорогах ударным воздействием (рис. 1), например рабочих органов со сферической ударной поверхностью [8], которые предотвращают повреждение дорожного покрытия в процессе разрушения льда.

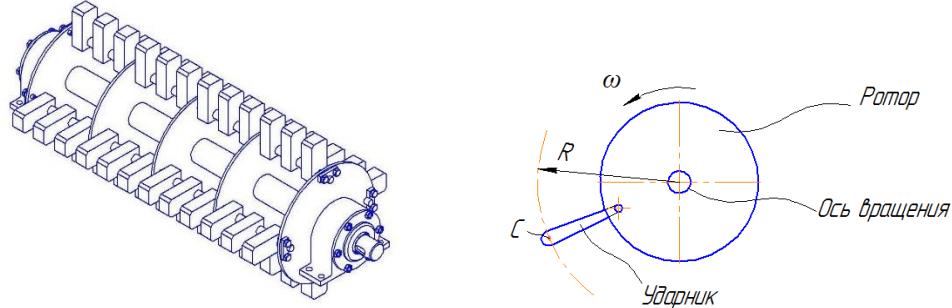
При проектировании РО для разрушения льда ударом возникает необходимость расчетного определения их параметров. Однако попытка получить расчетные зависимости на основе закона сохранения энергии, т.е. предположения, что вся кинетическая энергия ударника должна полностью переходить в потенциальную энергию разрушения льда, показала результаты, весьма далекие от действительности.

В результате несложных преобразований, вытекающих из закона сохранения энергии, и с использованием положений теории упругости [9, 10] может быть получена формула для определения необходимой для разрушения массы  $m$  ударника, которая связывает этот

параметр с другими параметрами рабочего органа и характеристиками льда [11]:

$$m = \frac{4 \cdot [\sigma_{\text{сж}}]^3 \cdot r \cdot h^2 \cdot 900}{E^2 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot R^2} \quad (1)$$

где  $[\sigma_{\text{сж}}]$  – предельно допустимое напряжение сжатия льда, МПа;  
 $r$  – радиус сферической рабочей поверхности ударника, м;  
 $h$  – толщина ледяного покрова дорожного покрытия, м;  
 $E$  – модуль упругости для льда, МПа;  
 $n$  – частота вращения рабочего органа, об/мин;  
 $R$  – радиус расположения ударника относительно оси вращения рабочего органа, м.



$R$  – расстояние от оси вращения до центра масс С ударника

Рисунок 1 - Рабочий орган для разрушения льда ударного действия и схема для определения линейной скорости ударника

На компьютере в программе Microsoft Excel был произведен расчет по формуле (1) массы  $m$  ударника для различных радиусов  $r$  сферической ударной поверхности, толщины ледяного покрова  $h=50$  мм при различных значениях температуры воздуха, т.к. модуль упругости  $E$  для льда зависит от температуры воздуха [11, 12] (средний модуль упругости для льда  $E=4850$  МПа), частоте вращения рабочего органа  $n=66$  об/мин, расстоянии центра масс ударника от оси вращения рабочего органа  $R=400$  мм. Результаты расчётов массы  $m$  ударника представлены в табл. 1, из которой видно, что расчётная масса ударника очень мала, что дает основания говорить о неверной количественной оценке процесса разрушения льда по формуле (1), которая объясняет сложностью процесса деформации и разрушения льда [13] при взаимодействии со сферической поверхностью ударника. Можно также отметить, что предпосылка о переходе кинетической энергии удара в потенциальную энергию только упругой деформации неверна, так как часть энергии затрачивается на пластическую деформацию, а также преобразуется в тепловую энергию.

Получение пригодной для практического расчета формулы, связывающей между собой различные параметры рабочего органа, а также учитывающей характеристики льда, на данном этапе не представляется возможным, поскольку распределение подведенной кинетической энергии ударника между вышеперечисленными процессами до конца не ясно. Более того, определить закономерности распределения подведенной энергии между другими видами энергии, в первую очередь такими, как полезно потраченная и потерянная энергия, теоретическими методами в данном случае невозможно. Для установления таких закономерностей необходимы экспериментальные исследования.

Таблица 1

*Зависимость массы ударника от параметров рабочего органа и характеристик льда*

радиус раб. поверхн. ударника, мм	толщина льда $h_l=50$ мм			
	$t^{\circ}=-4$ °C	$t^{\circ}=-10$ °C	$t^{\circ}=-15$ °C	$t^{\circ}=-20$ °C
	масса ударника, т, г			
30	0,036178	0,038845	0,030803	0,02269
40	0,048237	0,051793	0,041071	0,030253
50	0,060296	0,064741	0,051339	0,037816
60	0,072356	0,07769	0,061606	0,045379
70	0,084415	0,090638	0,071874	0,052943

Эксперименты по изучению процесса разрушения ударом льда на твердом покрытии, результаты которых приведены в данной работе, являются первым шагом для первоначального установления взаимосвязи между параметрами процесса, выявления закономерностей процесса разрушения льда под действием удара, определения обозначенных выше закономерностей перераспределения энергии и последующего перехода к получению эмпирико-теоретической зависимости для определения параметров РО ударного действия, с учетом характеристик льда, например для определения массы ударника или частоты вращения РО, необходимых для разрушения на дороге ледяного покрытия заданной толщины.

Для получения эмпирических представлений о рабочем процессе разрушения льда на твердом покрытии воздействием на него ударника со сферической рабочей поверхностью был проведен ряд экспериментов.

### Эксперимент № 1

Цели и задачи эксперимента:

- определение высоты свободного падения стального шара диаметром 50 мм, массой 0,5 кг, достаточной для разрушения льда при однократном сбрасывании шара;
- определение необходимой для разрушения льда скорости шара при однократном сбрасывании;
- определение частоты вращения РО с радиусом расположения ударника относительно оси вращения рабочего органа  $R=400$  мм, соответствующей линейной скорости шара при падении в момент соударения с поверхностью льда.

Ход эксперимента.

Был выбран участок бетонной площадки, покрытый ровным слоем льда. Глубиномером штангенциркуля замерена толщина льда. С помощью термометра определена температура воздуха.

Поэтапно сбрасывался шар, начиная с высоты 100 мм, с шагом 50 мм до тех пор, пока не произойдет эффективное разрушение льда. Степень эффективности разрушения льда определялась визуально.

Измеренные и определённые параметры:

- температура воздуха  $t^{\circ}= -2$  °C;
- толщина льда  $h_l=4$  мм;
- эффективная высота сбрасывания шара, при которой происходит эффективное разрушение льда,  $h_{ш}=1200$  мм.

Определение скорости шара, необходимой для разрушения льда при  $h_{ш}=1200$  мм.

Как известно, конечная скорость при свободном падении равна:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\text{ш}}}, \text{ м/с}, \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,2} = 4,85 \text{ м/с.}$$

Определение эквивалентной высоте падения шара частоты вращения РО при радиусе расположения ударника  $R=400$  мм

$$v = \omega \cdot R = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot R, \text{ м/с},$$

откуда

$$n = \frac{30 \cdot v}{\pi \cdot R}, \text{ об/мин}; \quad (3)$$

$$n = \frac{30 \cdot 4,85}{3,14 \cdot 0,4} = 115 \text{ об/мин.}$$

Основные результаты эксперимента № 1: полное разрушение льда толщиной  $h_{\text{л}}=4$  мм при температуре воздуха  $t_{\text{в}}=-2$  °C происходит при падении шара массой 0,5 кг и диаметром 50 мм с высоты  $h_{\text{ш}} \geq 1200$  мм, причём при высоте падения шара 1200 мм лед разрушается без касания шара о поверхность бетона.

### Эксперимент № 2

Цели и задачи эксперимента:

- определение высоты свободного падения стального шара диаметром 50 мм, массой 0,5 кг, достаточной для разрушения льда при двукратном сбрасывании шара;
- определение необходимой для разрушения льда скорости шара при двукратном сбрасывании;
- определение частоты вращения рабочего органа  $R=400$  мм, соответствующей линейной скорости шара.

Ход эксперимента.

Был выбран участок бетонной площадки, покрытый ровным слоем льда. Глубиномером штангенциркуля замерена толщина льда. С помощью термометра определена температура воздуха.

Поэтапно сбрасывался шар по два раза с каждой высоты в одну область с небольшим расхождением точек падения (10...20 мм), начиная с высоты 100 мм, заканчивая высотой 750 мм, с шагом 50 мм. Визуально определяли степень разрушения льда.

Измеренные и определённые параметры:

- температура воздуха  $t_{\text{в}}=-2$  °C;
- толщина льда  $h_{\text{л}}=4$  мм;
- эффективная высота двукратного сбрасывания шара, при которой начинается эффективное разрушение льда,  $h_{\text{ш}}=700...750$  мм.

Определение скорости шара (соответствующей высоте падения  $h_{\text{ш}}=h_{\text{ш,мин}}=700$  мм), необходимой для разрушения льда, по формуле (2):

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,7} = 3,7 \text{ м/с.}$$

Определение эквивалентной высоте падения шара частоты вращения РО при радиусе расположения ударника  $R=400$  мм по формуле (3):

$$n = \frac{30 \cdot 3,84}{3,14 \cdot 0,4} = 88,3 \text{ об/мин.}$$

Основные результаты эксперимента № 2: при двукратном падении шара массой 0,5 кг диаметром 50 мм примерно в одну область с отклонением 20...30 мм полное разрушение

льда толщиной  $h_l=4$  мм при температуре воздуха  $t^o_b=-2$  °C происходит при высоте падения  $h_{ш}=750$  мм, при этом лёд разрушается без касания шара о поверхность бетона.

Сравнивая результаты экспериментов № 1 и 2, можно сделать вывод, что двукратное попадание ударника в одну небольшую область позволяет в 1,3 раза уменьшить скорость ударника.

### Эксперимент № 3

Цели и задачи эксперимента:

- определение высоты свободного падения и количества сбрасываний стального шара диаметром 50 мм, массой 0,5 кг, достаточных для разрушения льда различной толщины при неоднократном сбрасывании;
- определение необходимой для разрушения льда скорости шара при трехкратном сбрасывании;
- определение частоты вращения рабочего органа  $R=400$  мм, соответствующей линейной скорости шара.

Ход эксперимента.

Был выбран участок бетонной площадки, покрытый ровным слоем льда. Путем намораживания получены участки с различной толщиной льда. Глубиномером штангенциркуля замерена толщина льда. С помощью термометра определена температура воздуха.

Поэтапно сбрасывался шар по три раза с одной высоты в одну область с небольшим расхождением точек падения (20...30 мм), начиная с высоты 400 мм до высоты 1000 мм с шагом 100 мм, а с высоту 1000 мм до высоты 2000 мм - с шагом 200 мм. Визуально определяли степень разрушения льда.

Измеренные и определённые параметры:

- температура воздуха  $t^o_b=-5$  °C;
- толщина льда  $h_l=15; 20; 30$  мм;
- наиболее характерные высоты  $h_{ш}$  многократного сбрасывания шара и количество сбрасываний при каждой высоте для разных толщин льда, при которых происходит эффективное разрушение льда, представлены в табл. 2.

Таблица 2

*Количество сбрасываний шара в зависимости от высоты сбрасывания  $h_{ш}$  и толщины льда  $h_l$*

$h_{ш}$ , мм	$h_l$ , мм		
	15	20	30
400	не определено	не определено	не определено
500 - 900	не определено	не определено	не определено
1000	47	не определено	не определено
1200	35	не определено	не определено
1400	26	не определено	не определено
1600	19	не определено	не определено
1800	14	не определено	не определено
2000	10	37	не определено

Основные результаты эксперимента № 3: полное разрушение льда толщиной 15 мм при температуре воздуха  $t^o_b=-5$  °C происходит при падении шара массой 0,5 кг диаметром 50 мм в одну область (20...30 мм), начиная с высоты около 1000 мм, но количество ударов при этом очень велико, а при больших толщинах льда количество и высоту сбрасываний определить практически не удается. Причиной этого, по-видимому, является не-

достаточная для такой толщины льда масса ударника (сбрасываемого шара) и большой для данных условий диаметр его сферической рабочей поверхности.

#### Эксперимент № 4

Для выяснения влияния диаметра сферической рабочей поверхности ударника на процесс разрушения льда были проведены эксперименты по разрушению льда путем сбрасывании шаров массой 16 и 32 кг с диаметром сферической рабочей поверхности 200 мм, в ходе которых было установлено, что ударниками такого диаметра можно разрушить лёд толщиной до 10...15 мм, преимущественно за счет значительной массы ударника, а при больших толщинах льда происходит не разрушение, а смятие льда, образуется нечто, напоминающее наклёт, который не удаляется ударником.

Основные результаты эксперимента № 4: с увеличением диаметра сферической рабочей поверхности ударника эффективность разрушения льда уменьшается, т.е. разрушение льда ударниками большой массы, но с большим диаметром сферической рабочей поверхности малоэффективно, так как требует большой энергии на привод ударника большой массы, а эффективность разрушения льда весьма низкая.

Также во время экспериментов было установлено, что при ударе шара о поверхность льда часть льда плавится и на участке его соприкосновения с шаром образуется вода, что косвенно свидетельствует о значительных тепловых потерях при преобразовании энергии в момент удара.

Основные практические результаты и выводы по выполненным экспериментам.

1) Предпосылка о том, что вся кинетическая энергия ударника полностью переходит в потенциальную энергию разрушения льда, неверна. Полученная на основании этой предпосылки формула, связывающая параметры рабочего органа и характеристики льда, дает неверную количественную оценку процесса разрушения льда ударом.

2) Для предварительного установления взаимосвязи между параметрами и выявления закономерностей процесса разрушения льда под действием удара и для использования их в последующих исследованиях целесообразно провести эксперименты по изучению процесса разрушения ударом льда на твердом покрытии.

3) При массе ударника  $m=0,5$  кг при диаметре сферической рабочей поверхности  $r=0,05$  м полное разрушение льда толщиной  $h_l=4$  мм при температуре воздуха  $t^{\circ}=-2$  °C за один удар происходит при падении шара с высоты  $h_{sh}\geq 1200$  мм, что соответствует частоте вращения РО  $n=115$  об/мин, а за два удара - при падении шара с высоты  $h_{sh}\geq 700$  мм, что соответствует частоте вращения РО  $n=88,3$  об/мин, причём лед разрушается без касания шара о поверхность бетона, т.е. экспериментально подтверждается возможность предотвращения разрушения покрытия дороги при использовании ударника со сферической рабочей поверхностью.

4) Двукратное попадание ударника в одну небольшую область позволяет в 1,3 раза уменьшить скорость ударника (или частоту вращения РО), что позволяет снизить энергозатраты на процесс разрушения.

5) При толщине льда 15 мм и более массы ударника  $m=0,5$  кг для эффективного разрушения льда недостаточно. В этом случае необходимо увеличивать либо массу ударника, либо его скорость.

6) Разрушение льда ударниками большой массы, но с большим радиусом сферической поверхности малоэффективно.

7) Разрушение льда не зависит от приложенной к нему силы, а зависит только от подведенной к нему кинетической энергии и величины той ее части, которая тратится на совершение полезной работы деформации льда, т.е. преобразуется в потенциальную энергию напряжений, возникающих в толще льда в процессе деформации и приводящих к его

разрушению. С этих позиций влияние на процесс разрушения льда можно оказать, изменения массу ударника, но более эффективно - изменяя скорость движения ударника (т.к. в кинетической энергии скорость – в квадрате), которую можно регулировать, изменения частоту вращения или радиус расположения ударника.

8) Большое влияние на процесс разрушения льда оказывает такой параметр ударника, как радиус рабочей сферической поверхности, при увеличении которого эффективность разрушения льда снижается. Изменением радиуса сферической поверхности ударника можно регулировать процесс разрушения льда, например при увеличении толщины льда уменьшением радиуса сферической поверхности восстановить или даже повысить эффективность разрушения при неизменной массе ударника.

9) Полученные на данном этапе исследований результаты позволяют определять частоту вращения РО, эквивалентную высоте падения ударника, при массе ударника, равной сбрасываемой массе. Эти же результаты, дополненные новыми исследованиями, предполагается использовать для установления эмпирико-теоретической зависимости между параметрами РО для разрушения льда и параметрами льда для получения возможности проведения инженерных расчетов, определения на стадии проектирования параметров рабочего органа ударного действия с учетом характеристик льда.

#### Список литературы

1. Гусьев Л.М. Борьба со скользкостью городских дорог. М.: Стройиздат, 1994. - 29 с.
2. Баловнев В.И. Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог: Уч. пособие для вузов по дисциплине «Дорожные машины» / В.И. Баловнев, М.А. Беляев и др.; Под общ. ред. В.И. Баловнева. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.-Омск: ОАО «Омский дом печати», 2005. – 768 с.
3. Blackburn R.J. Physical alternatives to chemicals for Highway Deicing. - Transp. Rea. Board Spec. Rept., 2009, N185.
4. Mouat T.W., Saunders R.L. Detachment of Ice from Surfaces by Application of High Intensity Light. - Transp. Res. Board Spec. Rept., 2009, N185.
5. Воскресенский Г.Г. Создание и исследование комплекса машин для очистки покрытий автомобильных дорог от уплотнённого снега и льда // Научное обеспечение технического и социального развития Дальневосточного региона: Тр. Хабар. гос. техн. ун-та. – Хабаровск : Хабар. гос. техн. ун-т, 1998. – С. 175-181.
6. Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины и комплексы: Учеб. для вузов по дисциплине «Дорожные машины» для специальностей 170900, 230100, 150600 / Под общ. ред. В.И. Баловнева. - 2-е изд. доп. и перераб. – Москва-Омск.: Изд-во СибАДИ, 2001. – 528 с.
7. Богородский В.В. Разрушение льда: методы и средства / В.В. Богородский, В.П. Гаврило, О.А. Недошивин. - СПб.: Гидрометеоиздат, 2003.
8. Способ разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях. Патент Республики Казахстан на изобретение № 31910, бюл. № 5 от 15.03.2017 г.
9. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер / Пер. с англ. М.И. Рейтмана; Под ред. Г.С. Шапиро. – М.: Наука, 1975. – 576 с.
10. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.Г. Яковлев, В.В. Матвеев. - Киев: Изд-во «Наукова думка», 1975. - 704 с.
11. Петров И.Г. Выбор наиболее вероятных значений механических характеристик льда: Тр. ААНИИ. - СПб: Гидрометеоизд, 1996. - 141 с.
12. Войтовский К.Ф. Механические свойства льда. М.: Изд-во АН СССР, 1990. – 5 с.
13. Лавров В.В. Деформация и прочность льда. - СПб: Гидрометеоизд, 1999. - 206 с.

Получено 18.04.2018

UDC 656.614.2

**V.N. Vdovin, M.M. Iskakova**D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University,  
Ust-Kamenogorsk**DEFINING OF LOAD OBJECTS AND PREFERRED DIRECTIONS FOR DIFFERENT TYPES OF VEHICLE**

*В статье рассматривается проблема выявления корреспонденций между объектами тяготения и определения количества перемещений, которые в дальнейшем могут быть использованы для разработки рекомендаций по реорганизации маршрутов пассажирского транспорта и определению перспективных объемов пассажиропотоков между существующими объектами тяготения.*

*Мақалада тартылу объектілерінің арасындағы хабарламаларды және орын ауыстырулар салыны анықтау мәселесі қарастырылады. Бұл мәселе жолаушылар көлігінің бағдарларын қайтадан үйімдастыру бойынша ұсыныстарды жасауда және қолданыстауда тартылу объектілерінің аралындағы болашақтауды жолаушылар ағынының көлемін анықтау үшін қолданылуы мүмкін*

*The article considers with the problem of detection of communications between attraction objects and determining the number of movements, which can be used in the future to develop recommendations for the reorganization of passenger transport routes and the definition of promising volumes of passenger traffic between existing attractions.*

**Keywords:** load objects, communications, preferred directions, intensities of traffic environment, cartogram of intensities.

As a rule, load objects represented as densely populated residential area, large facilities, educational establishments, shopping centers, leisure centers, railway stations and country places.

The most acceptable method for extracting load objects is a method, based on representing road network (RN) as a graph. Graph consists of lines and nodes. Line is an interval of RN between two nodes. Nodes are selected as ends and crossings of highways.

In this research for elimination influence of secondary interregional and backup roads instead of the intersection points was considered a larger region adjacent to the highways. The size of these areas is determined by the limitation of pedestrian distance to the center of the area. As a result of analyze of RN graph were identified 37 enlarged nodes (table 1).

Figure 1 demonstrates a diagram of the nodes and the links between them. Nodes have been enumerated and the relationships (lines) have received letter designations. As a result of questionnaire-based survey realized of EKSTU specialists' were received communications between nodes.

In accordance with the program of transport sociological survey questionnaire-based survey was conducted within three months among different social stratum of the population in all districts of Ust-Kamenogorsk. For a more complete taking into account the views of the economically active population survey was also carried out in large enterprises of the city, in universities, offices. The required volume of sample surveys is defined by mathematical statistics for the non-repeated sampling.

Nodes number 15, 16, 19, 23 and 27 are the most powerful of arrivals. Nodes 16, 19, 23 located on the Nezovisimosti Avenue highway, moreover bed on crossing of Nezovisimosti and Abai Avenue; node 27 located on Satapayev Avenue highway. Nodes number 8, 23, 24 and 32 are the most powerful of arrivals. Node number 8, 24 located on Abai Avenue and Auezov Avenue respectively. Node number 32 bed on crossing of Ushanov and Proletarskaya streets. As can be seen from the above, main load objects located on five highways of the city. Therefore, marginal traffic environment should go over these highways. Figure 1 schematically describes the city road network for communication realization between nodes. So, each communication represents a set of lines forming the shortest way between nodes. Coincidentally, a set of commu-

nication could go through on each line. The number of movements on the line by all communications (the expected intensity of traffic environment) is the main characteristic of the line.

Table 1  
*Nodes' specification*

№	Center of node	Edge of node
1	Airport	Airport, Vistavka, Arkticheskaya, Sady
2	Prokhladnaya	Prokhladnaya, KCM, Parovoznaya
3	Electrotovary	Elektrotovary, Avrory, Pogranichnaya, Myasokombinat
4	Zashita	Zashita, Leninogorskaya, Elevatornaya, Pereezd, Neftebaza, Tubdispanser
5	Opitnoe pole	Opitnoe pole, Masterskie, Apteka, Ekspeditsiya, Dachi, Bolnica
6	Altayenergo	Altayenergo, 5 tsekh, Mebelniy kombinat
7	Khimchistka	Khimchistka, Kommunalnaya, TETs
8	Kazzinc	Kazzink, Taksopark, Vniitsvetmet, Promishlennaya
9	Pereezd	Pereezd, Zavodskaya, Techsnab
10	Gavan'	Gavan', Gavanskiy poverot, Gavanskiy mostik, Abay
11	Armaturniy	Armaturniy, Machinostroiteley, Sogrinskaya
12	Sogra	Novaya Sogra, TMK, Bobrovskyi pereezd, Shkola
13	Akhmirovo-2	
14	Akhmirovo	
15	Oktyabrsky	Oktyabrsky, Karbisheva, Bulvar, Shevchenko, Mirniy
16	DKM	DKM, Telestudiya, Gogolya, Vostok, Uchkombinat, Mashzavod, Mashukova
17	EKSTU	EKSTU, Zhastar, Rovesnik
18	Ivushka	Ivushka, Voskhod
19	Kazakhstan	Park "Metallurg", Kazakhstan, 45 Apteka, BSMP
20	Menovnoye	
21	Lermontova	Lermontovka, DKS
22	Strelka	Memoialniy kompleks, park "Sauleta"
23	Dvorets sporta	Dvorets sporta, Avtovokzal, ploshad' Ushanova, Potanina
24	Kolos	Kolos, Auezova, Progress
25	Sberbank	Sberbank, Vesna, Ulba bridge, Dzhamul park, CUS
26	ODB	ODB, Cheremushki
27	KShT	Tekstilshikov, Obshezhitiie, Doshkolniy detdom
28	Metallurg	
29	Mostopoyezd	"Arzan"
30	Mel'kombinat	Melkombinat-Bazovaya, "Beibars"
31	Rechnoy vokzal	Rechnoy station, Urtskogo, Museum
32	Rinok	Rinok, Pushkin library, Yubileiny
33	Tramvainiy park	Tramvainiy park, Zheleznodorozhnaya, Oblbolnica
34	Melzavod	Melzavod, ZhD most
35	Altay	"Altay", "Aimar", "Titan"
36	UK vokzal	UK vokzal, Poliklinika

*Continuation of table 1*

37	Pristan'	Pristan', Ros-Kaz university, Maslozavod
38	Ablaketka	Ostrovskogo, ГЭС, Prombaza

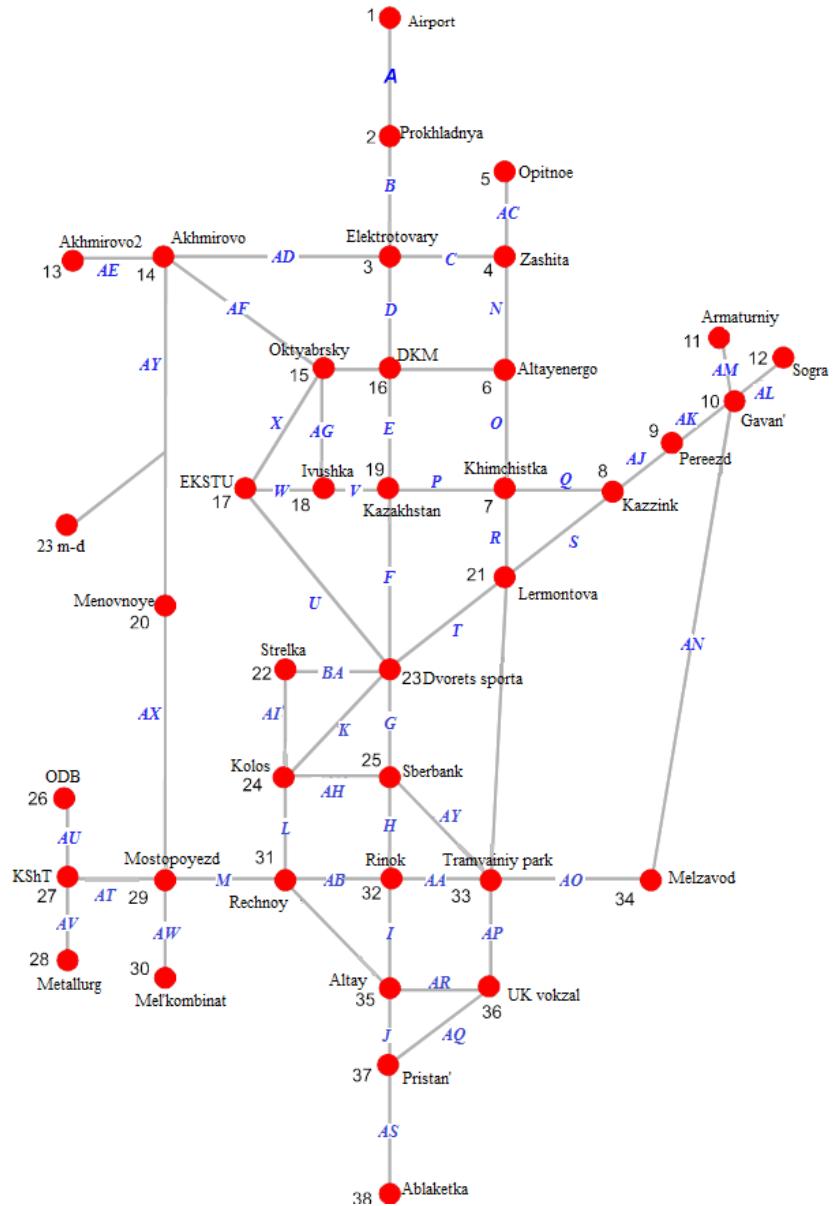


Figure 1 – Scheme of nodes

It ought to be noted that, at calculations of lines' characteristics are used questionnaire-based survey, reflecting needs in movements but not the actual movements.

Nodes G (Dvorets sporta-Sberbank), H (Sberbank-Rynok), F (Dvorets sporta-Kazakhstan), M (KShT-Rechnoy vokzal) are the most stressed lines.

Lines' characteristics allow revealing charge capacity on city's highways. To identify the dislocations of load objects relative to every highway it is necessary to determine the main directions of vehicle movements. Defining the intensity of traffic environment on each line (table 2), receive the intensities cartogram represented on figure 2.

Theoretically, it is possible to make 37 traffic routs from each node: from one node to all other nodes (figure 1). In fact, as the questionnaire-based survey represents, each node have several quantity of preferred directions the accounting of which will correspond to need in movement of the main part of the population in this node. Each of this preferred directions characterized by certain intensity of traffic environment.

Table 2  
*Lines' characteristics*

Line	Passen- ger traf- fic flow on se- lection											
A	280	J	1367	S	1453	AB	1038	AK	1085	AT	1728	
B	614	K	1861	T	1801	AC	95	AL	1072	AU	490	
C	187	L	1726	U	1804	AD	20	AM	184	AV	370	
D	1085	M	2136	V	156	AE	125	AN	56	AW	151	
E	1994	N	358	W	1037	AF	247	AO	162	AX	237	
F	2437	O	644	X	283	AG	506	AP	276	AY	151	
G	3417	P	271	Y	462	AH	71	AQ	65	AZ	307	
H	2702	Q	486	Z	454	AI	180	AR	364	BA	174	
I	1484	R	399	AA	165	AJ	1152	AS	794	BB	415	

As for the selection of the most important priorities necessary relative intensity of traffic environment, the data of communications was recalculated in percentages to the total traffic flow of the relevant node. To obtain the results, the calculations were made in a software product from Microsoft MS Office Excel 2010. The results are represented in Table 3. Since only relative intensities from the sending nodes are needed for further work, the destination nodes are not demonstrated in table 3. Due to the large size of the intensity matrix, only a fragment of the matrix is shown in the table.

As can be seen from table 3, there are nodes with only 1-3 directions covering 60-80% of the total intensity of this node: 9, 10, 12, 34 and 38. In General, 50-60% of the traffic environment rate of each node falls on 3-5 directions for all nodes, that is, the rest of the flow is sprayed in the remaining directions. For evaluation quantities of intensity of given node, making up 50-60%, of preferred directions were used accumulated relative intensities. Consider this procedure on the example of node 1.

Initial relative intensities by the first ten preferred directions can be shown as (fragment of table 3):

0,26      0,15      0,14      0,12      0,08      0,06      0,05      0,03      0,03      0,03

To obtain accumulated intensities for each cell, write to this cell the sum of values of all cells preceding this cell, including the value of this cell, for example, for the first cell the sum is 0.26, for the second cell is  $0.26+0.15=0.41$ , for the third cell  $0.26+0.15+0.14=0.55$ , etc.:

0,26      0,41      0,55      0,67      0,74      0,81      0,86      0,88      0,91      0,94

After calculating the accumulated intensity, we see that the accumulated relative intensity exceeding 0.5 (50%) is in the third cell. Consequently, there are three priority areas for node 1.

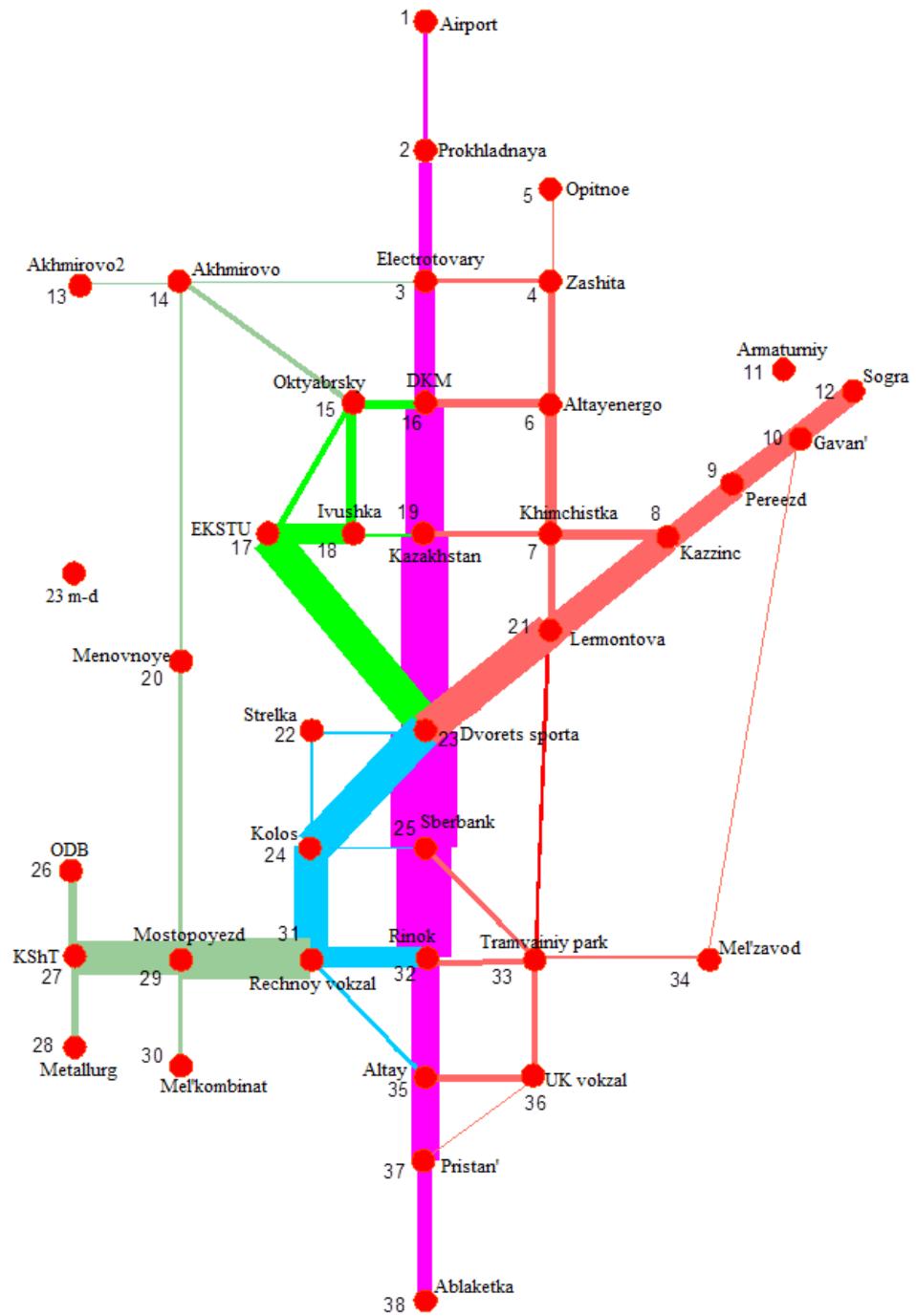


Figure 2 - Cartogram of the expected intensity of traffic environment

Table 3  
*Ranked relative intensities*

1	0,26	0,15	0,14	0,12	0,08	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0
2	0,23	0,23	0,11	0,1	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0	0	0	0	0
3	0,26	0,24	0,11	0,1	0,08	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0
4	0,24	0,2	0,1	0,08	0,07	0,06	0,06	0,04	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0
5	0,38	0,17	0,1	0,1	0,07	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0	0
6	0,27	0,17	0,11	0,1	0,09	0,06	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0
7	0,33	0,17	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0,13	0,11	0,11	0,11	0,1	0,1	0,07	0,07	0,06	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0
9	0,67	0,17	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,36	0,2	0,14	0,06	0,06	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0	0
11	0,5	0,1	0,1	0,08	0,07	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0,31	0,26	0,21	0,06	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
13-33	13-33																				
34	0,55	0,18	0,07	0,05	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0,16	0,14	0,09	0,09	0,07	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
36	0,24	0,17	0,08	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
37	0,28	0,1	0,08	0,07	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
38	0,52	0,11	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0

The results of determining the number of preferred directions for all nodes are presented in table 4.

Table 4  
*The number of preferred directions*

Node	Accumulated relative intensities								The number of preferred directions		
1	0,26	0,41	0,55	0,67	0,74	0,81	0,86				3
2	0,23	0,46	0,57	0,67	0,72	0,76	0,80				3
3	0,26	0,50	0,60	0,70	0,79	0,82	0,85				2
4	0,24	0,45	0,54	0,63	0,69	0,76	0,82				3
5	0,38	0,55	0,64	0,74	0,81	0,86	0,88				2
6	0,27	0,44	0,56	0,66	0,75	0,81	0,85				3
7	0,33	0,50	0,58	0,67	0,75	0,83	0,92				3
8	0,13	0,24	0,35	0,46	0,56	0,65	0,72				5
9	0,67	0,83	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				1
10	0,36	0,56	0,70	0,76	0,82	0,86	0,88				2
11	0,50	0,60	0,69	0,77	0,85	0,88	0,90				1
12	0,31	0,57	0,78	0,84	0,87	0,91	0,93				3
13	0,27	0,47	0,61	0,69	0,76	0,81	0,84				2
14	0,20	0,40	0,49	0,58	0,67	0,73	0,77				4
15	0,27	0,44	0,57	0,69	0,76	0,80	0,83				3
16	0,20	0,35	0,43	0,50	0,56	0,62	0,66				4

*Continuation of table 4:*

17	0,33	0,53	0,64	0,73	0,77	0,81	0,84		2
18	0,29	0,47	0,57	0,67	0,72	0,78	0,82		3
19	0,22	0,35	0,44	0,51	0,57	0,62	0,65		4
20	0,28	0,53	0,63	0,71	0,78	0,85	0,91		2
21	0,19	0,36	0,49	0,57	0,64	0,70	0,74		4
22	0,32	0,45	0,52	0,58	0,63	0,68	0,72		3
23	0,21	0,28	0,35	0,40	0,45	0,50	0,54		6
24	0,20	0,31	0,39	0,46	0,49	0,53	0,57		6
25	0,14	0,24	0,32	0,39	0,46	0,52	0,58		6
26	0,38	0,52	0,63	0,68	0,72	0,77	0,81		2
27	0,32	0,47	0,59	0,64	0,70	0,73	0,77		3
28	0,39	0,65	0,71	0,75	0,79	0,83	0,86		2
29	0,17	0,28	0,36	0,44	0,51	0,58	0,64		5
30	0,45	0,63	0,73	0,79	0,85	0,89	0,92		2
31	0,22	0,34	0,40	0,45	0,50	0,54	0,58		5
32	0,14	0,23	0,29	0,36	0,41	0,47	0,52		7
33	0,25	0,46	0,57	0,68	0,74	0,76	0,79		3
34	0,55	0,73	0,80	0,85	0,89	0,93	0,95		1
35	0,16	0,30	0,40	0,48	0,55	0,61	0,64		5
36	0,24	0,41	0,48	0,54	0,60	0,65	0,70		4
37	0,28	0,38	0,46	0,53	0,59	0,64	0,68		5
38	0,52	0,63	0,70	0,76	0,81	0,86	0,91		1

The table represents that the number of preferred directions is in the range of 1..7. Fewer preferred directions are found in peripheral or sparsely populated areas. The largest numbers of preferred directions have and, accordingly, are the largest load objects central nodes (23 – Dvoretz sporta, 24 - Kolos, 25 - Sberbank, 32 - Rinok).

Number of movements, communications between load objects the expected intensity of traffic environment in the future can be used to develop recommendations for the reorganization of the route network of passenger transport, traffic management and the definition of promising volumes of passenger traffic between existing load objects.

#### List of references

1. Efremov I.S., Kobozev V.M., Yudin V.A. The theory of urban passenger traffic. - M: High school 1980, p. 534.
2. Bonneson, J. & Son, H. Prediction of expected red-light-running frequency at urban intersections. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2003, vol. 1830, p. 38-47.
3. Golob, T.F., Recker, W. & Pavlis, Y. Probabilistic models of freeway safety performance using traffic flow data as predictors. In: Safety Science, 2009, vol. 46, nr. 9, p. 1306-1333.
4. Abdel-Aty, M., Uddin, N. & Pande, A.. Split models for predicting multivehicle crashes during high-speed and low-speed operating conditions on freeways. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2005, nr. 1908, p. 51-58.

Получено 18.04.2018

УДК 669.1

**А.Н. Жакупов**

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

**А.В. Богомолов**

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

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ 13ХФА**

*В статье рассматривается повышение механических свойств конструкционной стали 13ХФА при производстве бесшовных труб. Данное решение позволит без применения комбинированных видов обработки и легирования дорогостоящими микродобавками получить максимальную группу прочности Q125 согласно стандарту API 5CT.*

*Мақалада 13ХФА құрылымдық болаттың механикалық қасиеттерінің артуы қарастырылған. Бұл шешім API 5CT стандартына сәйкес Q125 максимал төзімділік тобына қол жеткізу үшін қынбат тұратын микроэлементтер мен өндөрдің және қоспалаудың аралас тұрларін қолданусыз мүмкіндік береді.*

*The article deals with improving the mechanical properties of constructional steel 13CrV in the production of seamless pipes. This solution will allow, without the use of combined types of processing and alloying with expensive micro additives, to obtain the maximum strength group Q125 according to the API 5CT standard.*

**Ключевые слова:** термоциклическая обработка, упрочнение, бесшовные трубы, механические свойства.

Повышение прочности стальных труб на сегодняшний день является весьма актуальной проблемой. Единственным производителем бесшовных насосно-компрессорных и обсадных труб в Казахстане является трубопрокатный завод ПФ ТОО «KSP Steel». В связи с развитием технологий обработки труб встает вопрос конкурентоспособности на мировом рынке. Поэтому в данной работе предлагается способ повышения механических свойств низколегированной коррозионно-стойкой стали до четвертой группы прочности Q125 согласно стандарту API 5CT без применения комбинированных видов обработки, таких как химико-термическая обработка, термомеханическое упрочнение и легирование дорогостоящими микродобавками [1, 2].

Объектом исследования является сталь 13ХФА, из которой была произведена труба диаметром 88,9 мм и толщиной стенки 10,92 мм. Для определения точного химического состава был проведен спектрометрический анализ на ДФС-500. Результаты представлены в табл. 1. Для проведения экспериментальных исследований с данной трубы был отрезан темплет и изготовлены образцы размером 200×10×10 мм.

Таблица 1  
*Химический состав объекта исследования*

Химический элемент	Fe	C	Cr	V	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	Al	Co	Nb	W	Ti	S	P
Состав, %	97,84	0,1414	0,5021	0,0545	0,4517	0,2217	0,1419	0,1321	0,0165	0,0233	0,0101	0,0072	0,0000	0,0000	0,0065	0,0146

Для повышения механических свойств была применена термоциклическая закалка стали с последующим отпуском при 150 °C после последнего цикла охлаждения водой.

Температура нагрева перед закалкой соответствовала критической точке  $\gamma \rightarrow \alpha$  фазового превращения для данной марки стали, равной 860 °C [3]. Загрузка образцов в количестве пяти штук для каждого режима производилась в нагретую до 860 °C печь Snol 6.7/1300. Скорость нагрева и время выдержки рассчитаны согласно рекомендациям [4] в зависимости от толщины стенки нагреваемых образцов. Однако добавка хрома способствует росту зерна при длительном нагреве, поэтому хромистые стали не следует долго выдерживать в печи при температуре выше  $Ac_3$  [5].

Для получения механических свойств, соответствующих группе прочности Q125 согласно стандарту API 5CT, необходимо получить следующие нормируемые значения механических характеристик: минимальный предел прочности – 931 МПа, предел текучести – в интервале 862-1034 МПа, минимальное относительное удлинение – 9,0%. Согласно [6], для получения максимальных прочностных свойств необходимо в стали получить структуру мартенсита. Согласно термокинетической диаграмме [7], для получения преобладающей структуры мартенсита необходима закалка со скоростью охлаждения выше критической, то есть 100 °C/c, в связи с этим охлаждение производили опусканием образцов в воду, температура которой равна 18 °C. При этом достигалась скорость охлаждения, равная 250-300 °C/c. Охлаждение с такой интенсивностью не привело к возникновению закалочных трещин, так как содержание углерода в ней находилось на уровне 0,14%.

Согласно утверждению [8], максимальный предел прочности, который можно достичь для стали с содержанием 0,14 %, ограничивается в пределах 400 МПа, а предел текучести 200 МПа (рис. 1).

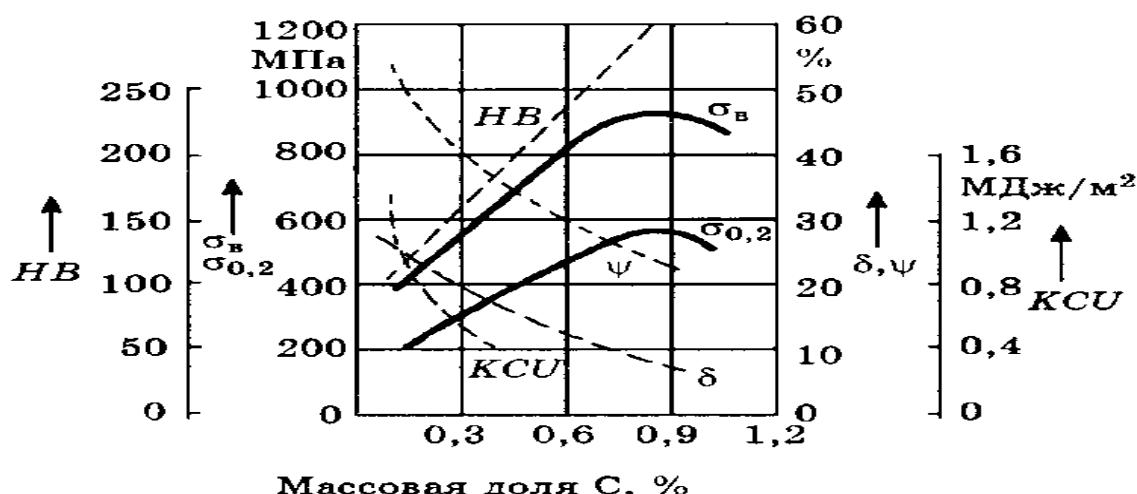


Рисунок 1 – Зависимость прочностных свойств от содержания углерода

Однако содержание в стали легирующих элементов, таких как хром и ванадий, повышают твердость и прочность мартенсита после термообработки. Добавка 1% хрома повышает прочность стали в 1,5-2 раза [8]. Введение ванадия (0,05-0,1%) в конструкционные стали повышает их прочность на 10-20%, не уменьшая заметно пластичность и ударную вязкость [8]. Таким образом, низкоуглеродистая сталь ( $C \approx 0,14\%$ ), содержащая до 1% хрома и 1% ванадия, позволяет посредством закалки с низким отпуском увеличить предел прочности с 400 до 900 МПа, а предел текучести – до 700-750 МПа за счет получения преобладающей структуры мартенсита.

Для дальнейшего повышения механических свойств производилась термоциклическая обработка от одного цикла, то есть закалка в воде с последующим отпуском, до оптимального количества циклов с целью достижения максимальных значений прочностных свойств. После проведения термоциклической обработки были произведены испытания на растяжение для определения пределов прочности и текучести, а также относительного удлинения. Результаты механических испытаний, средние значения из пяти по каждому из режимов указаны на рис. 2, где 0 (нуль) циклов соответствует свойствам исходной структуры объекта исследования, полученного после проката трубы на линии горячего проката.

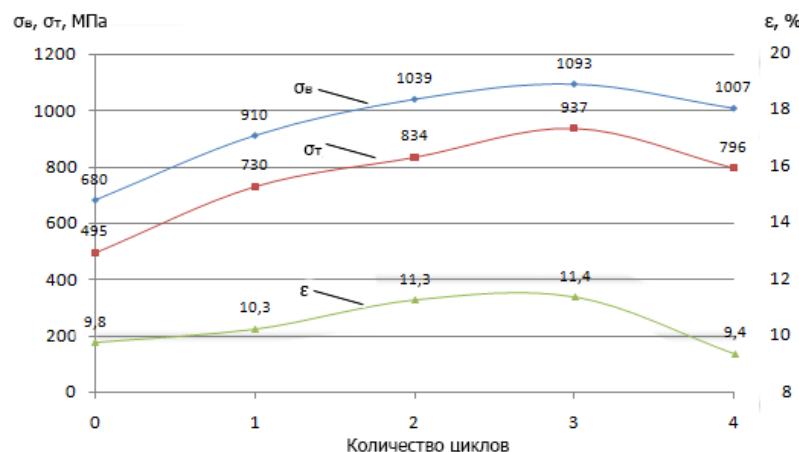


Рисунок 2 – Механические свойства образцов стали 13ХФА при термоциклической обработке

Как видно из результатов, максимальные свойства достигнуты на третьем цикле, которые, кроме того, соответствуют по всем показателям группе прочности Q125, в отличие от обработки в 1, 2 и 4 циклах. Дальнейшее увеличение количества циклов закалки нецелесообразно, так как значения механических свойств снижаются. Это может быть связано с насыщением структуры карбидами и постепенным увеличением аустенитного зерна при повторных нагревах под закалку.

Кроме того, были произведены испытания на удар по Шарпи, результаты которых показаны на рис. 3, где значение 45 Дж соответствует минимальному значению поглощенной энергии для продольных образцов согласно стандарту API 5CT.

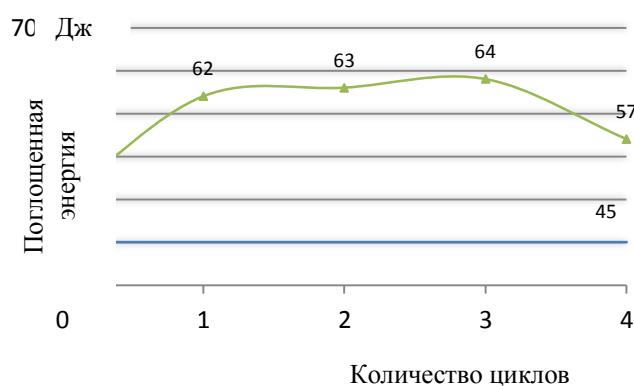


Рисунок 3 – Результаты испытания на удар по Шарпи

Анализ полученных на оптическом микроскопе Альтами МЕТ 3 микроструктур циклически закаленных образцов с последующим отпуском при 150 °C в течение одного часа показал, что металл имеет двухфазную ферритно-мартенситную структуру (рис. 4). Светлые участки, обозначенные стрелкой  $\Phi$ , показывают ферритную составляющую, а темные  $M$  – мартенситную. Микротвердость по каждому режиму термообработки указана в табл. 2. Анализ результатов микротвердости подтвердил высокие значения прочностных свойств при трехкратной закалке в воде с отпуском при 150 °C.

Структура матрицы, полученная на просвечивающем электронном микроскопе JEM200CX, представляет собой пластинчатый двойникованный мартенсит, характерный для легированных сталей (рис. 5). Ширина реек во всех случаях колеблется в интервале ~0,1–1,0 мкм. Наиболее равномерная структура по размеру игл мартенсита наблюдается при обработке в три цикла, при которой в основном сохраняется размер в пределах 0,5 мкм.

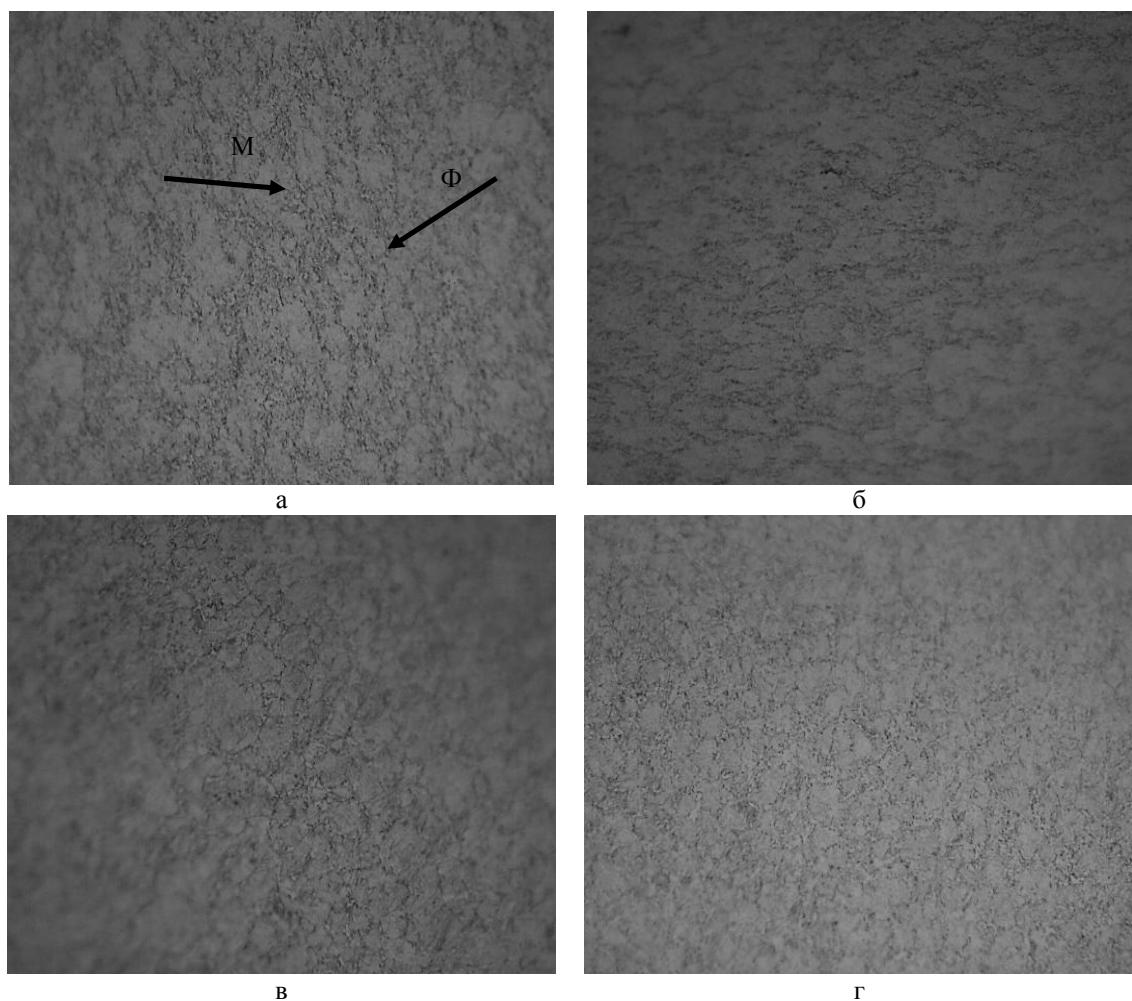


Рисунок 4 – Микроструктура термообработанных образцов ( $\times 1000$ ):  
а – один цикл; б – два цикла; в – три цикла; г – четыре цикла

Таблица 2  
Микротвердость стали 13ХФА при различных режимах обработки

Режим термообработки	Фаза	Микротвердость, HV						
		1	2	3	4	5	6	7
		от поверхности → к центру						
1 цикл	Феррит	334	324	302	291	259	238	205
	Мартенсит	447	446	418	407	405	375	371
2 цикла	Феррит	348	339	328	311	264	237	219
	Мартенсит	475	462	470	456	452	412	375
3 цикла	Феррит	372	345	331	298	268	237	225
	Мартенсит	533	487	481	476	478	451	374
4 цикла	Феррит	361	334	329	284	234	229	222
	Мартенсит	505	496	468	483	441	434	408

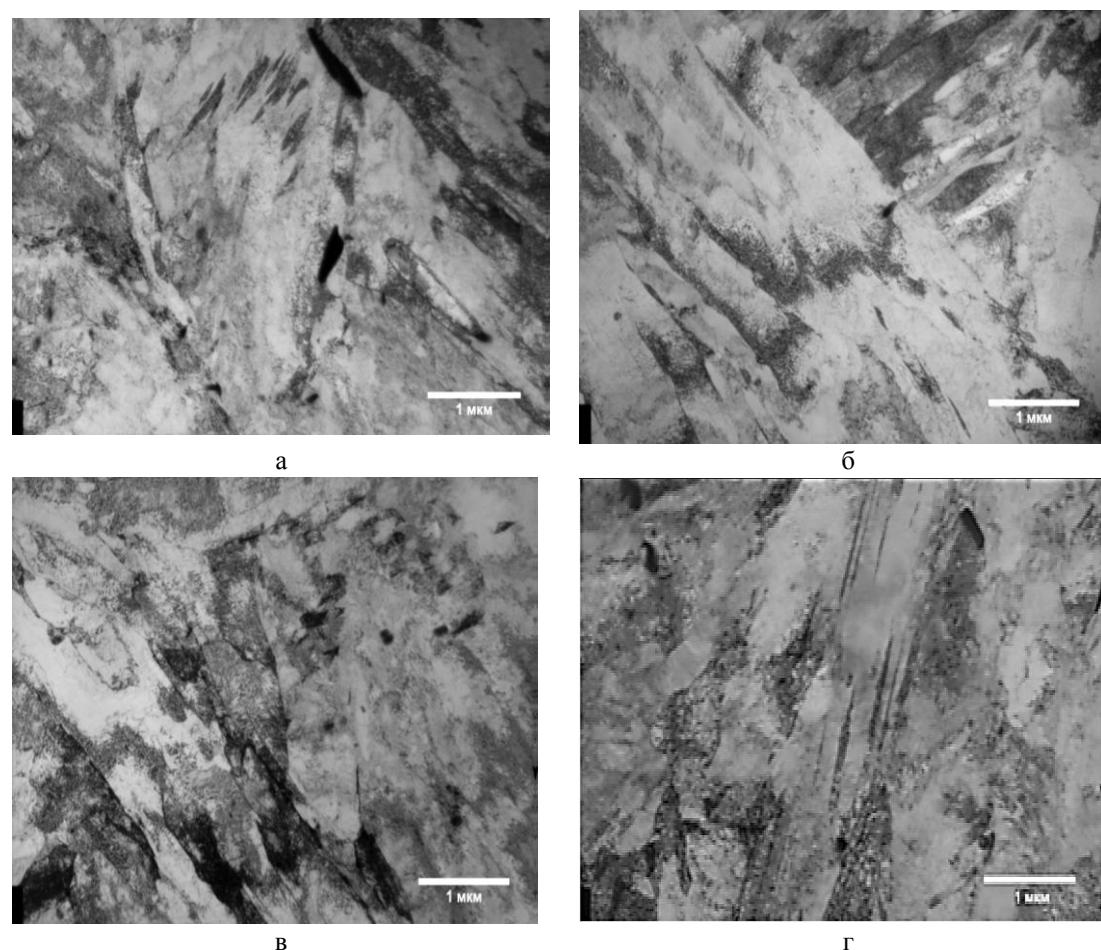


Рисунок 5 – Микроструктура, полученная на просвечивающем электронном микроскопе:  
а – один цикл; б – два цикла; в – три цикла; г – четыре цикла

На основании вышеизложенного можно сделать следующий вывод. Применение такого вида упрочнения механических свойств, как термоциклическая обработка, позволяет без введения дорогостоящих микродобавок или применения комбинированных способов обработки совместно с химическим или деформационным упрочнением добиться высоких показателей, соответствующих максимальной группе прочности Q125 согласно стандарта API 5CT. В результате экспериментами подтверждена целесообразность применения термоциклической обработки для упрочнения трубных марок сталей. Выявлено оптимальное количество циклов закалки (три) для получения максимальных значений нормируемых показателей.

#### Список литературы

1. Болховитинов Н.Ф. Металловедение и термическая обработка. – М.: Машгиз, 1952. – 463 с.
2. Чернов Д.К. Избранные труды по металлургии и металловедению. – М.: Наука, 1983. – 447 с.
3. [http://splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=3062](http://splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=3062).
4. Циммерман Р. Металлургия и материаловедение / Р. Циммерман, К. Гюнтер. – М.: Металлургия, 1982. – 479 с.
5. Барановский М.А. В помощь кузнецу-штамповщику. – М.: Беларусь, 1976. – 207 с.
6. Блантер М.Е. Металловедение и термическая обработка. – М.: Машгиз, 1963. – 416 с.
7. Сергеева К.И. Процессы формирования структуры и комплекса свойств низколегированной трубной стали повышенной стойкости: Автorefерат. – Екатеринбург, 2012. – С. 10.
8. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.

Получено 18.04.2018

---

УДК 622.001.89:622.68

**О.М. Жаркевич**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ШЕЙКИ РОЛИКОВ ЦЕПНОГО КОНВЕЙЕРА  
ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГОРЯЧЕКАТАННЫХ РУЛОНОВ**

*В статье приведены оптимальные режимы газовой наплавки шейки роликов цепного конвейера. Приведены режимы термообработки для снятия остаточных напряжений после наплавки. Определены зависимости интенсивности изнашивания образцов от различных параметров после наплавки и термобработки.*

*Мақалада тізбекті конвейер аунақшаларының мойындарын газды балқытудың тиімді режимдері көлтірілген. Балқытудан кейін қалдық кернеулерді жою үшін термиялық өңдеу режимдері көлтірілген. Балқыту мен термиялық өңдеуден кейін түрлі параметрлердің үлгілердің тозу қарындылығына тәуелділіктері анықталған.*

*The optimal modes of gas surfacing for the neck of rollers of the chain conveyor are given in the article. Heat treatment modes for removing residual stresses after surfacing are given. The dependences of the wear rate of the samples on various parameters after surfacing and heat treatment are determined.*

**Ключевые слова:** цепной конвейер, отжиг, ролик, проволока, остаточные напряжения, интенсивность изнашивания.

Наиболее часто встречающимся дефектом цепного конвейера для транспортировки горячекатанных рулонов является износ и излом шейки роликов (рис. 1).



Рисунок 1 – Разрушение шейки роликов

Для выяснения причины образования этого дефекта была построена диаграмма Исикавы (рис. 2).



Рисунок 2 – Износ/излом шейки ролика

В результате анализа обратила на себя внимание одна из причин, а именно «отсутствие упрочнения шейки роликов». Увеличение прочности и износостойкости шейки ролика достигается наплавкой на подготовленную поверхность проволоки с последующей проточкой для снятия напряжений и шлифованием [1].

Использовались марки проволоки Св-08ГС, Св-10ГС, Св-08Г2С, Св-18ХГС, ПП-АН4. Они выбирались из числа серийно выпускаемых с целью возможности разработки новых технологических процессов упрочнения роликов.

Наплавку производили с помощью сварочного оборудования для механизированной сварки (модель AMI G500) в среде защитных газов (Ar 99% + O<sub>2</sub> 1%) (рис. 3). Ролик после наплавки представлен на рис. 4.

Проведенный комплекс исследований позволил установить оптимальные режимы наплавки проволоки Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-18ХГС, ПП-АН4 на детали цилиндрической формы с наиболее благоприятной для сопротивления усталости микроструктурой. При условии предварительной классификации проволок следующие режимы наплавки можно считать лучшими (табл. 1).



Рисунок 3 – Установка для наплавки  
(модель - AMI G500)



Рисунок 4 – Наплавленный ролик

Таблица 1  
*Режимы наплавки роликов*

Марка проволоки	Сварочный ток, А	Сварочное напряжение, В	Скорость сварки, мм/мин	Расход газа, л/мин	Вылет проволоки, мм
Св-08ГС	200	23,4	6	10	24
Св-08Г2С	200	23	5,5	10	23
Св-08ХГС	190	23	6	8	22
ПП-АН4	200	24	6	10	23

Однако при наплавке ролика возникают проблемы, связанные с формированием остаточных напряжений и деформациями.

- Существует следующие методы снятия остаточных напряжений [2]:
- термические;
  - механические;
  - термомеханические;
  - специальные методы обработки.

Отжиг является наиболее эффективным способом уменьшения остаточных напряжений. Наиболее часто он применяется при температуре нагрева 550-880 °C без зажимных приспособлений. После остывания деталь теряет форму, поэтому для обеспечения точности нужно оставлять припуски на последующую механическую обработку.

Для уменьшения остаточных напряжений в шейке роликов после наплавки была назначена термообработка. Режимы термообработки указаны в табл. 2.

Таблица 2  
*Режимы термообработки наплавленных роликов*

Отжиг при температуре, °C	Время отжига	Отпуск
550 - 600 °C	1 ч	Охлаждение в печи до 200 °C, далее на воздухе

Для того чтобы убедиться, что наплавленный слой (с термообработкой и без нее) повышает износостойкость, был проведен эксперимент. Лабораторные испытания проводились на машине трения 2070 СМТ-1 под нагрузкой 500, 750 и 1000 Н (рис. 5). При пло-

щади контакта  $S=200 \text{ см}^2$  удельное давление составляло  $P_1=200 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ,  $P_2=300 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ,  $P_3=500 \text{ кгс}/\text{см}^2$ .

Параметры образцов для машины трения приведены в табл. 3.

Таблица 3  
*Параметры образцов*

Материал образцов	Внешний диаметр D, мм	Внутренний диаметр d, мм	Ширина B, мм	Площадь контакта S, $\text{мм}^2$	Твердость HRC
Ролик Сталь 45 ГОСТ 1050-88	50	16	12	200	18
Колодка Сталь ШХ15 ГОСТ 801-78	60	50	10	200	55

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем: стальной ролик устанавливался на шпиндель машины трения, колодка закреплялась с помощью винтов в державке. Радиальное биение ролика не превышало 10 мкм.

Пара трения ролик-колодка (рис. 6) находилась в резервуаре со смазочным материалом.



Рисунок 5 – Машина трения 2070 СМТ-1

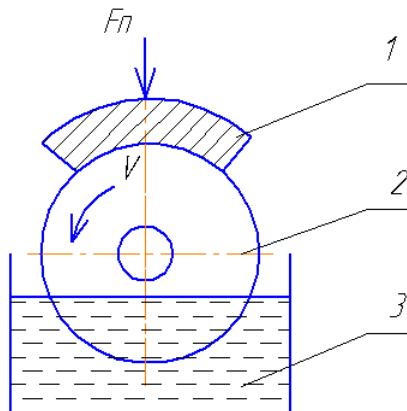


Рисунок 6 – Схема испытаний на трение и изнашивание: 1 - колодка; 2 - ролик; 3 - смазывающая жидкость

Интенсивность износа образцов оценивалась по весовому и линейному износу методом Крагельского И.В. [3]. Интенсивность изнашивания – отношение величины износа к пути трения, на котором происходил этот износ [4].

Будем рассчитывать интенсивность изнашивания  $I_m$  по массе:

$$I_m = \Delta m / \Delta l, \quad (1)$$

где  $\Delta m$  – приращение массы, г;  $\Delta l$  – приращение пути трения, см.

Также будем рассчитывать интенсивность изнашивания  $I_h$  по линейному износу [4]:

$$I_h = \Delta h / \Delta l, \quad (2)$$

где  $\Delta h$  – приращение линейного износа, мм;  $\Delta l$  – приращение пути трения, мм.

По результатам испытаний построены графики зависимости износа образцов от про-

длительности испытаний (рис. 6, а) и зависимости линейного износа от удельного давления (рис. 6, б).

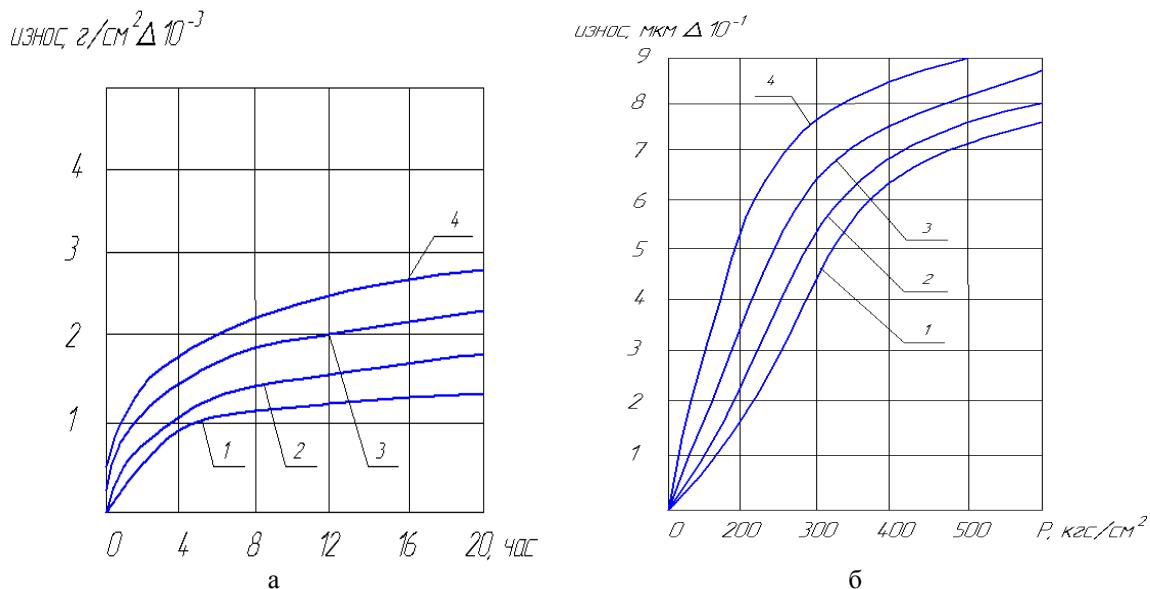


Рисунок 6 - Зависимость интенсивности изнашивания образцов от различных параметров после наплавки: а - интенсивность изнашивания по массе от продолжительности испытаний; б - интенсивность изнашивания по линейному износу от удельного давления; 1 – Cv-08ГС; 2 – Cv-08Г2С; 3 – Cv-08ХГС; 4 – ПП-АН4

Анализ результатов показал, что мы имеем для всех испытываемых образцов два ярко выраженных периода изнашивания. В первый период происходит приработка трущихся поверхностей – изменение их микро- и макропараметрии. Во времени этот период составляет от 4 до 8 часов непрерывной работы. При этом линейный износ прямо пропорционален времени изнашивания.

После периода приработки, который необходимо стремиться сокращать, наблюдается второй период установившегося износа. В этом случае имеет место линейная зависимость между временем изнашивания и величиной износа, т.е. в период установившегося износа скорость изнашивания остается постоянной.

Из графиков видно, что минимальный износ имеют образцы с покрытием ПП-АН4. С увеличением удельного давления величина линейного износа возрастает. При этом на участке 0-200 Н/см<sup>2</sup> величина линейного износа прямо пропорциональна изменению величины удельного давления.

Такие же испытания были проведены для термообработанных образцов с наплавкой. Результаты представлены на рис. 7.

Проанализировав рис. 6, а, 7, а, можно сделать вывод о том, что характер износа для всех образцов с наплавкой и образцов с наплавкой и термообработкой идентичен. Интенсивность изнашивания образцов с наплавкой и термообработкой в 1,4 раза меньше, чем у образцов только с наплавкой.

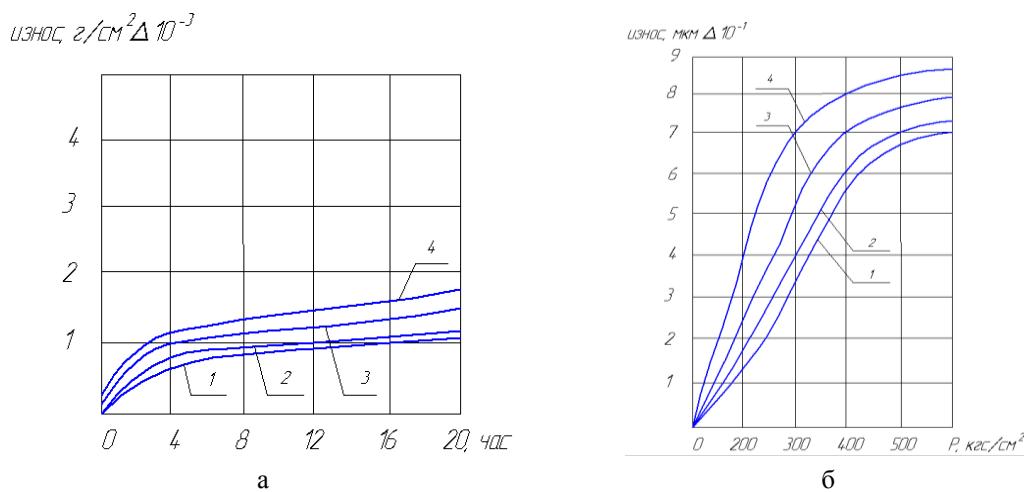


Рисунок 7 - Зависимость интенсивности изнашивания образцов после наплавки и термобработки: а - интенсивность изнашивания по массе от продолжительности испытаний; б - интенсивность изнашивания по линейному износу от удельного давления; 1 – Св-08ГС; 2 – Св-08Г2С; 3 – Св-08ХГС; 4 – ПП-АН4

На основании вышеизложенного можно сделать следующее заключение.

Установлено, что одной из причин образования дефекта «износ/излом шейки роликов» является отсутствие упрочнения на стадии изготовления роликов. Предложены оптимальные режимы газовой наплавки шейки роликов с использованием серийно-выпускаемых проволок Св-08ГС; 2 - Св-08Г2С; 3 - Св-08ХГС; 4 – ПП-АН4. Предложены режимы термообработки после наплавки шейки роликов для уменьшения остаточных напряжений.

Испытания по определению интенсивности изнашивания показали, что образцы с наплавкой и термообработкой изнашиваются в 1,4 раза меньше, чем образцы только с наплавкой. Это позволяет делать вывод, что срок службы наплавленных и термообработанных роликов будет выше, чем у роликов только с наплавкой.

#### Список литературы

1. Виноградов В.С. Электрическая дуговая сварка: Учеб. пособие для нач. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 320 с.
2. Комаров О.С. Материаловедение и технология конструкционных материалов. - Минск: Новое знание, 2009. - 671 с.
3. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. - М.: Машиностроение, 1977. - 231 с.
4. Гаркунов Д.Н. Триботехника. - М.: Машиностроение, 1985. - 424 с.

Получено 18.04.2018

УДК 621.979

**А.Е. Кайрбаева, С.С. Джингилбаев**

Алматинский технологический университет, г. Алматы

**В.Н. Василенко, Л.Н. Фролова, Н.А. Михайлова**

Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж,  
Российская Федерация

**АНАЛИЗ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ СЕМЯН ТЫКВЫ И ДЫНИ  
МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ПРЕССОВАНИЯ**

*В статье рассматривается процесс прессования семян дыни и тыквы методом холодного отжима на экспериментальной установке МПЭ-1. Приведены наиболее рациональные параметры зеерной камеры, оптимальная частота вращения шнека.*

*Мақалада МПЭ-1 тәжірибелік қондырығыда сұық түрде сығу өдісімен қауын мен асқабақ дәндерін сыйымдау үдерісі қарастырылған. Зеерлі камераның өдөүір рационалды параметрлері мен шнектің оптимальды айналу жиілігі келтірілген.*

*This article considers the process of pressing melon and pumpkin seeds by the cold-press method at the MPE-1 experimental unit. It provides the most rational parameters of pressing chamber and the optimal rate of screw rotation.*

**Ключевые слова:** прессование, семена дыни и тыквы, шнековый маслопресс, масличность, холодный отжим.

Масложировая отрасль в агропромышленном комплексе Казахстана занимает ведущее место. Предприятия отрасли, перерабатывающие семена масличных культур, производят растительное масло и жировые продукты пищевого, технического и кормового назначения, в том числе и стратегического. В связи с этим состояние масложировой отрасли определяет развитие целого ряда отраслей АПК. В настоящее время перед масложировой промышленностью стоят новые задачи, связанные не только с количественным наращиванием объемов производства, но и требующие принципиально новых подходов и решений как в создании инновационных технологий и оборудования, так и в выпуске продуктов питания функционального назначения. Актуален и выбор наиболее перспективных масличных культур для производства продуктов этой группы, отличающихся улучшенным или сбалансированным жирнокислотным составом с повышенным содержанием жирорастворимых веществ, низкой окисленностью, обеспечивающих здоровье человека.

Производством бахчевых культур занимаются в мире 94 страны. Посевные площади приближаются к 3,5 млн га, валовой сбор составляет 92,5 млн тонн, а средняя урожайность составляет 18,7 тонн/га. Важный резерв в использовании земельных ресурсов зоны товарного бахчеводства — это производство семян бахчевых культур как фармацевтического сырья, т.е. переработка семян на масло «с дальнейшим использованием его для производства биологически активных пищевых добавок, лекарственных и косметических препаратов [1].

Доказано, что для повышения выхода масла и содержания в нем биологически активных веществ сушку семян тыквы необходимо проводить после снижения их влажности до 20-22%. Сушка семян при высоких температурах вызывает в них активирование гидролитических процессов (кислотное число масла семян увеличивается в 2 раза) и переход латентного периода к периоду быстрого окисления жира семян (содержание токоферолов снижается более чем в два раза по сравнению с их содержанием при 80 °C). При холодном отжиме не используются высокие температуры, что положительно влияет на сохранность витаминов и полезных свойств растительного масла.

На экспериментальной установке (рис. 1) [2], созданной на базе одношнекового маслопресса, были проведены исследования процесса прессования масличного сырья для по-

лучения растительных масел из семян тыквы и дыни.

Зеерная камера представляет собой сборную конструкцию (рис. 2).



Рисунок 1 - Экспериментальная установка МПЭ-1: 1 - источник электропитания; 2 - щит управления; 3 - загрузочный бункер; 4 - орган регулировки зазора; 5 - зеерная камера; 6 - станина; 7 - сборник масла; 8 - электропривод

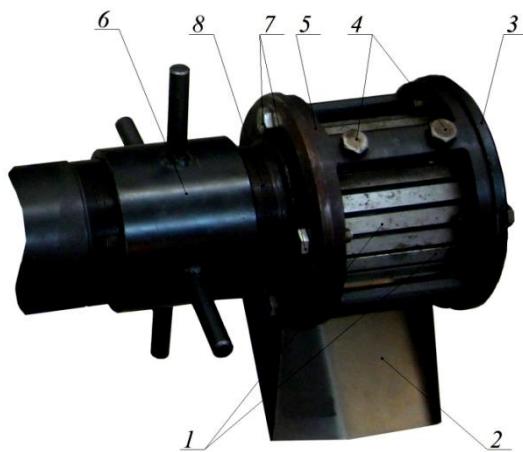


Рисунок 2 - Зеерная камера в сборе: 1 - зеерные пластины; 2 - сборник масла; 3 - прижимной диск; 4 - регулировочный болт; 5 - корпус для пластин; 6 - стягивающая шайба

В конструкцию рамы маслопресса МПЭ-1 входят уголки, соединенные между собой с помощью электросварки. Подшипниковый узел находится на пластине рамы маслопресса. В нижней части рамы с помощью петель подвижно закреплена прямоугольная пластина, на которой установлен электродвигатель. Регулировка угла наклона пластины осуществляется с помощью натяжного винта, который позволяет контролировать силу натяжения ремня [3, 4].

Конструкция шнека представлена набором отдельных сегментных витков, установленных на валу и закрепленных с помощью гайки и винта (рис. 3).



Рисунок 3 - Шнек

В ходе экспериментальных исследований были определены производительность маслопресса по полученному жмыху, масличность, объемный вес, а также влажность жмыха, количество вырабатываемого масла в определенной точке зеерной камеры маслопресса [5]. Установлено, что зазор между пластинами в зеерной камере должен составлять

0,15...0,3 мм. При этом была установлена зависимость температуры в зеерной камере от частоты вращения шнека и кольцевого зазора в зеерной камере, которая определяет толщину лепестка жмыха.

Наиболее рациональные параметры зеерной камеры следующие: кольцевой зазор для семян тыквы 0,6...1,0 мм; семян дыни 0,9...1,3 мм; оптимальная частота вращения шнека 5...7 с<sup>-1</sup>, при этом температура масла в зеерной камере составляет 323...331 К. При большей частоте вращения шнека за счет эффекта диссипации происходит разогрев зеерной камеры и температура становится более 333 К, что недопустимо, т.к. при данной температуре начинают разрушаться витамины и ненасыщенные жирные кислоты, которые являются незаменимыми для организма [6].

В ходе работы были проведены исследования изменений основных характеристик процесса получения растительных масел по длине зеерной камеры для семян тыквы и дыни (рис. 4). Установлено, что основное количество масла отжимается на первой и второй ступенях зеерной камеры, затем оказывается способность скелета мякти сопротивляться деформации, происходит уменьшение пористости, в результате чего скорость выхода масла снижается.

Проведены исследования зависимости плотности мякти и кислотного числа семян масличных культур от глубины отжима в шнековом прессе. Установлено, что в процессе отжима происходит уменьшение масличности мякти по мере ее продвижения от приемной камеры к выходу из пресса, одновременно происходит уплотнение прессуемого продукта.

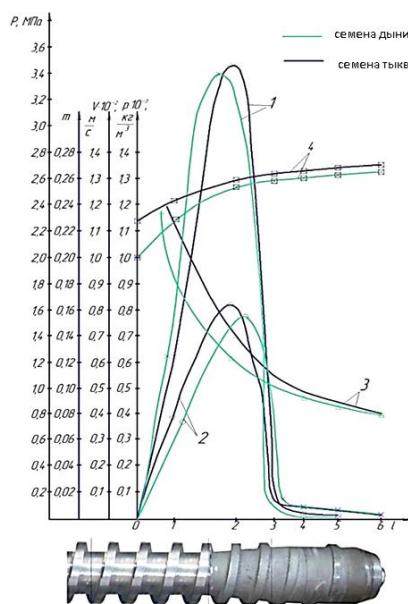


Рисунок 4 - Изменение давления, скорости отжима и характеристик мякти семян дыни и тыквы по длине рабочей камеры маслопресса: 1 – давление в камере маслопресса; 2 – средняя скорость отжимаемого масла; 3 – пористость мякти; 4 – плотность мякти

Обработка экспериментальных данных позволила получить следующее уравнение для определения кислотного числа (К.ч.) получаемого растительного масла:

$$\text{К.ч.} = 0,31 e^{0,05M} + \text{К.ч.}_0, \quad (1)$$

где К.ч.<sub>0</sub> – среднее значение КЧ масла мякти, поступающей в маслопресс.

Таким образом, изучение кинетики процесса прессования позволяет глубже оценить происходящие в исходном сырье процессы, установить оптимальные технологические режимы и оптимизировать конструкцию маслопресса для холодного отжима альтернативного масличного сырья.

#### Список литературы

1. Сиваков А.В. Усовершенствование технологии производства дыни в условиях Ростовской области. Автореф. дисс.... канд. с-х. наук. - 2007.- 24 с.
2. Vasilenko, V. N. Development of theoretical and technological fundamentals of complex processing of oil-bearing raw materials [Text]: monograph / V.N. Vasilenko, L.N. Frolova, I.V. Dragan. - Voronezh. State. Un-t Eng. Tech. - Voronezh: VGUET, 2014. - 148 p.
3. Complex processing of oilseeds (theory, equipment and technology) [Text]: monograph / V.N. Vasilenko, L.N. Frolova, I.V. Dragan, N.A. Mikhailova. - Voronezh 2016. - 312 p.
4. Technique and technology of plant materials and products of fat-and-oil enterprises [Text]: textbook / Voronezh. State. Un-t Eng. Technol; Comp. A.N. Ostrikov, V.N. Vasilenko, L.N. Frolova, I.V. Dragan. - Voronezh: VSUET, 2014. - 82 p.
5. Energy and resource-saving technologies for processing oilseeds [Text]: textbook / V.N. Vasilenko, L.N. Frolova, I.V. Dragan. - Voronezh: 2015. - 172 p.
6. Modern methods for investigating the properties of vegetable raw materials and products of fat-and-oil enterprises [Text]: textbook / V.N. Vasilenko, L.N. Frolova, I.V. Dragan, N.A. Mikhailova. - Voronezh: 2017. - 108 p.

Получено 18.04.2018

УДК 502.3

#### **D.M. Makenova**

L. Gumilyov Eurasian national university, Astana city

#### **A.A. Makenov, K.S. Bekbolatov**

D. Serikbayev East Kazakhstan state technical university, Ust-Kamenogorsk city

#### IMPROVING ECOLOGICAL MONITORING SYSTEMS OF ATMOSPHERIC AIR OF CITIES

*Настоящая статья посвящена вопросам совершенствования системы экологического мониторинга атмосферного воздуха городов. В ней представлен анализ современного состояния окружающей среды в городах Республики Казахстан, выявлены основные причины высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха. Предложены практические рекомендации по дальнейшему совершенствованию системы экологического мониторинга.*

*Бұл мақала атмосфералық ауаның экологиялық мониторингі жүйесін жақсартуға арналған. Онда Қазақстан Республикасының қалаларында қоршаган ортандың жай-күйін талдау, ауаның ластануының жоғары дәңгейінің негізін себептері анықталды. Экологиялық мониторинг жүйесін одан әрі жетілдіру бойынша практикалық ұсынымдар жасалды.*

*This article is devoted to the improvement of the ecological monitoring system of atmospheric air of cities. It provides an analysis of the current state of the environment in the cities of the Republic of Kazakhstan, identified the main causes of high levels of air pollution. Practical recommendations for the further improvement of the system of ecological monitoring are proposed.*

**Key words:** atmospheric air, city, pollution, environment, system, state, ecological monitoring.

One of the main problems of modern society of developing countries is the necessity to ensure proper economic growth without causing significant environmental damages. Rapid popu-

lation growth, uncontrolled urban development, increased energy consumption and a number of vehicles cause serious air pollution problems in cities around the world. Air pollution, in its turn, inevitably leads to a violation of the ecological system and huge economic and social losses for the societies.

For instance, according to the World Health Organization (WHO), in 2012, about 3.7 million people under the age of 60 died from air pollution, 90% of which were living in developing countries [1]. The database of WHO on air quality has significantly increased in recent years and now covers more than 1,600 cities from 90 countries.

The Republic of Kazakhstan, as a developing country, is rapidly changing over the past three decades, and its economy is largely based on the predominant use of fossil fuels, which leads to a sharp increase of emissions of pollutants and greenhouse gases into the environment.

Experts from the British organization called “The Eco Experts” analyzed data on 135 countries around the world based on the following environmental factors: energy consumption per capita; emissions of carbon dioxide gas (CO<sub>2</sub>) from fuel combustion; the level of air pollution; deaths related to air pollution; and renewable energy sources. According to the results of the study, Kazakhstan became one of the most toxic states in Central Asia, having entered the top ten toxic countries in the world [2].

There are two main groups of air pollutants: organic and inorganic pollutants. The most dangerous groups of organic pollutants are volatile organic compounds (VOCs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs).

These compounds enter the atmospheric air from anthropogenic and biogenic sources, and can also be formed as a result of photochemical reactions and photolysis. Currently, the main sources of VOCs in large cities of the country are emissions from vehicles, CHP plants, industrial enterprises, and construction sites (finishing materials).

The group of inorganic air pollutants includes the followings: nitrogen oxides, carbon monoxide, sulfur dioxide and sulfur trioxide, hydrogen sulfide and carbon disulfide, fluorine and chlorine compounds, and heavy metals.

Another danger that causes general concern is particulate matters. Due to their finely dispersed sizes, these particles suspended in the air easily penetrate into the lungs of a person, passing through the respiratory system.

By passing into the lungs, they negatively affect people's cardiovascular system, thus, causing very serious health problems. Particulate matters contain dangerous compounds such as heavy metals, metal oxides and silicates, solid salts and organic compounds (PAHs).

On the territory of the Republic of Kazakhstan, all observations of the state of the atmospheric air are carried out in 49 settlements in 146 posts, of which 56 are stationary posts and 90 automatic posts of observation (Fig. 1) [3].

At the posts of observation, followings are used as indicators to determine the state of atmospheric air: ammonia, suspended particles (dust, PM-1, PM-2.5, PM-4, PM-10), benzene, benzo[ $\alpha$ ]pyrene, beryllium, gamma-background radiation, nitrogen dioxide, sulfur and carbon dioxides, cadmium, cobalt, soluble sulfates, nitrogen and carbon oxides, ozone, hydrogen sulfide, phenol, hydrogen fluoride, chlorine, hydrogen chloride, hydrocarbons, sulfuric acid, formaldehyde, methane, non-methane hydrocarbons, inorganic compounds of arsenic, lead, chromium, copper, manganese, and zinc.

The state of atmospheric air pollution of cities is estimated by the results of analysis and processing of the samples that are obtained at stationary posts of observation.



Figure 1 - The scheme of the location of the posts of observation in the settlements of the Republic of Kazakhstan

The degree of atmospheric air contamination with an impurity is estimated by comparing the concentration of impurities with the maximum permissible concentration (MPC) (in  $\text{mg} / \text{m}^3$ ,  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ). To assess the level of air pollution for the month, the following indicators are used [3]:

- standard index (SI) is the largest measured maximum single concentration of any pollutant, divided by the MPC;
- the highest frequency (HF), % of exceeding the MPC is the highest frequency of the exceeding the MPC by any pollutant in the air of the city;
- the air pollution index (API) is an indicator of atmospheric pollution. For the calculation of API, mean values of the concentrations of various pollutants are used, which are divided by MPC to show the harmfulness of sulfur dioxide.

According to the calculations of the API for 2017, cities as Zhezkazgan, Karaganda, Karatau, Shymkent, Temirtau, Ust-Kamenogorsk and the village of Glubokoe are characterized to have a high level of pollution (API - 7 ... 13, SI - 5 ... 10, HF - 20 ... 49%) (Fig. 2) [3].

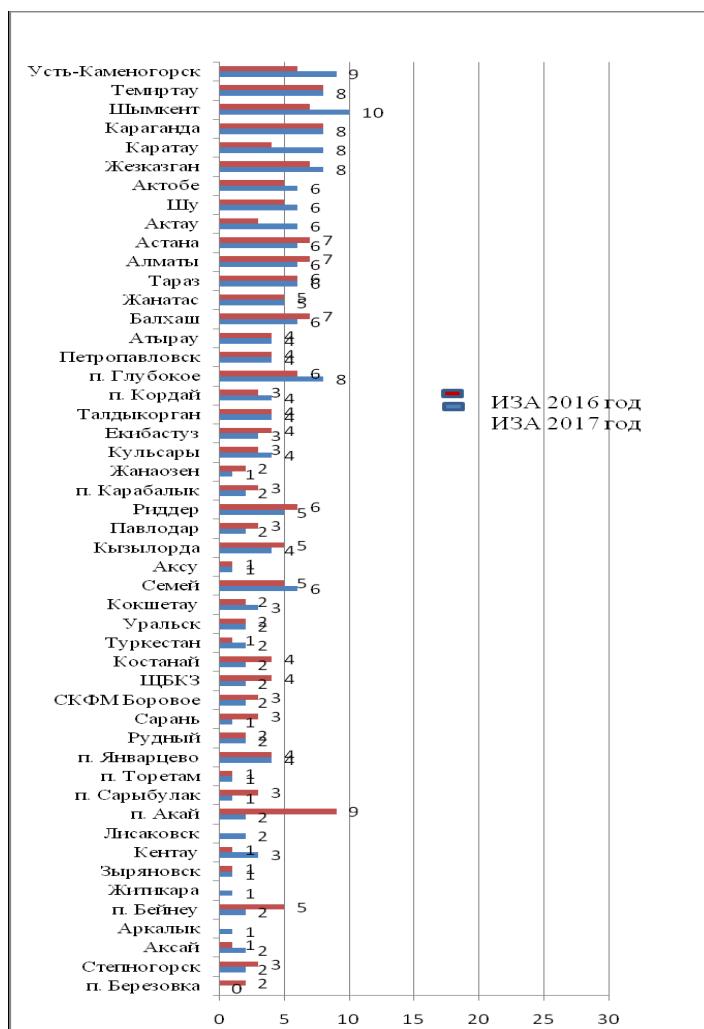


Figure 2 - Level of pollution of the settlements of the Republic of Kazakhstan

The cities of Astana, Almaty, Aktobe, Zhanatas, Semey, Ridder, Taraz, Balkhash, Shu refer to an increased level of pollution (API – 5...6, SI – 2...4, NP – 1...19%).

High levels of air pollution in urban areas are caused by pollutants such as nitrogen dioxide, carbon monoxide, sulfur dioxide, suspended matter [3-4]:

1) congestion of city streets by vehicles. Multi-component exhaust gases of motor fuel is one of the main sources of air pollution of cities with nitrogen dioxide, carbon monoxide, organic substances, etc., a high congestion of road networks of cities, even with good ventilation, causes the accumulation of harmful substances in the air atmosphere.

2) dispersion of emissions from industrial enterprises. The result of production processes in the combustion of industrial products is the whole list of harmful substances that cause a high level of air pollution. Their dispersion in the air basin over the territory of cities and settlements significantly affect to air quality of cities, suburbs and towns.

3) low air permeability of the atmospheric space of settlements. Air pollutants accumulate in the surface layer of the atmosphere and their concentration remains at a very high level.

It should also be noted that the main source of PAHs content in the atmospheric air of the

cities of the Republic of Kazakhstan are cars, the number of which is growing every year. At the same time, the amount of PAHs emissions by different types of vehicles into the atmospheric air of cities has not been established, which does not allow for the timely development of effective measures to reduce their content in the environment.

The system of ecological monitoring of the environment (SEME) performs a continuous, round-the-clock, automated monitoring of the state of environment and provides timely informing of responsible persons with reliable information for adoption of effective administrative decisions in the field of nature protection activity [5-7].

The system of ecological monitoring of the environment allows:

- continuously around the clock to monitor the level of pollution of atmospheric air on controlled territory;
- establish the geographical location of pollution sources and assess their contribution and impact on the current environmental situation (emission profile formation);
- to form a geographic map of atmospheric air pollution in the controlled area;
- to identify adverse weather conditions under which the concentration of pollutants increases for a certain time;
- to forecasting changes of state environment of the city;
- serve as a tool for monitoring emergency situations, accompanied by exceeding the maximum permissible concentrations of pollutants in real time;
- use modes of alerts and warnings of emergency situations, as well as the possible increase of pollution due to adverse weather conditions;
- provide access to information for stakeholders on the environmental situation, forming the image of «environmental openness».

Currently, atmospheric air monitoring in urban areas of the Republic of Kazakhstan is carried out according to the following priority pollutants: nitrogen and sulfur dioxide, carbon oxide, hydrogen fluoride, as well as suspended particles. According to available data, concentrations of nitrogen dioxide, sulphur dioxide and suspended particulates in the urban air exceeds the MPC. The chemical composition of suspended particles also has a significant impact on their toxicity. Thus in an atmospheric air of cities can contain much more toxic connections, including heavy metals, aromatic and polycyclic aromatic hydrocarbons. However, data on the concentrations of these pollutants are not available in the open press, which seems to be due to the complexity of their definition and the need for modern methods of analysis.

Result of the analysis of the current state of atmospheric air pollution in the cities of the Republic of Kazakhstan, can draw the following conclusions.

1. In cities, the sharp deterioration of the environmental situation is usually due to the new construction of a large part of industrial, residential and infrastructure facilities.
2. The main source of air pollution in cities are motor vehicles. The compounds contained in exhaust gases of cars are products of incomplete combustion of gasoline. In General, the concentration of aromatic hydrocarbons in motor gasoline, which is sold in the Republic of Kazakhstan, it reaches 60%, which is significantly higher than the standards set by Euro-3 (42%) and Euro-4 (35%). The transition to these standards will significantly reduce the concentration of aromatic hydrocarbons in the atmospheric air of cities.
3. The number of urban air observation posts needs to be significantly increased in order to obtain more complete quantitative data on the state of air pollution.
4. To improve the efficiency of the environmental monitoring system of atmospheric air it is necessary to implement modern methods and technical means to determine the concentration of pollutants in the environment.
5. All this leads to the necessity of the further perfection of system of ecological monitoring

of atmospheric air of cities, including its mathematical, organizational, programmatic, and technical support.

#### List of literature

1. Baymatova N. H. Chemical air pollutants in Almaty: Diss. ... doctor of philosophy (PhD). – Almaty, 2014. – 119 p.
2. www.ca-news.org.
3. Information Bulletin on the state of the environment of the Republic of Kazakhstan for 2017 //<https://kazhydromet/kz/ru/bulleten/okrsreda?year=2017>.
4. Koldobskaya N. Ah. Study of the environmental situation transformation with the help of integrated indices and ratings (by the example of the capitals of post-Soviet countries) // Regional study. – 2014. – № 3 (45). – P. 84-91.
5. Assessment state and management quality of atmospheric air: Textbook/ E. G. Tsyplakova, A. I. Potapov. – SPb.: Nestor-Istoriya, 2012. – 580 p.
6. Vinogradov P. M. geographic information support of geo-ecological monitoring of a large industrial city (by the example of the city of Voronezh): Abstract Diss. ... kand. geogr. sciences'. – Voronezh: VSU, 2015. - 24 p.
7. www.yk.kz.

Получено 18.04.2018

УДК 541.128

**Ж.Б. Махатов, Б.Ш. Кедельбаев, Ж.Е. Айменова**

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент

**Б.З. Долтаева, М.А. Тайжанова, М.М. Оразова**

Южно-Казахстанская государственная фармацевтическая академия, г. Шымкент

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПШЕНИЧНОЙ СОЛОМЫ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА

*В данной статье нами был определен уровень ресурсов соломы пшеницы на территории Южно-Казахстанской области для последующего проведения процесса деполимеризации природных полисахаридов, а также исследование ее химического состава. В качестве объекта исследований использовалась солома пшеницы, образующаяся в качестве отходов в аграрном секторе Южного Казахстана. Для определения объема вырабатываемой пшеничной соломы были проанализированы статистические данные по посеву пшеницы в Республике Казахстан. Также было протестировано выбранное растительное сырье с целью определения пригодности.*

*Мақалада табигаттагы деполимеризация процесін ары қарай жүргізу үшін және оның химиялық құрамын зерттеу үшін ОҚО аумағындағы бидай сабанының ресурс деңгейін анықтадық, Нысанның, саласын зерттеу үшін ОҚО-ғы аграрлық секторындағы қалдықтардан құрылған бидай сабаны алынды. Өсімдік шикізатының жарамдылығын анықтау үшін ҚР өндірілетін бидай сабанының көлемін анықтау үшін өсірілетін бидай бойынша статистикалық мәліметтерге талдау жасалды,*

*In given article had been defined level of resources of wheat's straw in territory of the South Kazakhstan area for the subsequent carrying out of natural polysaccharides depolymerization process, and also research of its chemical compound. As object of researches wheat's straw formed as a waste in agrarian sector of Southern Kazakhstan was used. For detection of developed wheaten straw statistical data on wheat crops in Republic Kazakhstan have been analyzed. Also the chosen vegetative raw material for the purpose of suitability definition have been tested.*

**Ключевые слова:** пшеничная солома, Южный Казахстан, химический состав, деполимеризация.

Альтернативой нефтеперерабатывающей промышленности является возрождение крупнотоннажной микробиологической промышленности в Республике Казахстан, непосредственно связанной с освоением сырьевой базы на основе возобновляемого растительного сырья. Переработка возобновляемого углеводсодержащего растительного сырья в промышленно важные продукты представляет большой практический интерес [1]. В связи с чем растущий интерес к использованию углеводсодержащих сельскохозяйственных растительных отходов, богатых полисахаридами, обуславливает поиск оптимальных методов их переработки [2]. Основным критерием при переработке данных отходов является их стоимость, объем, доступность и локализация, а также химический состав и технологические свойства. Однако их эффективное превращение в биологически усвояемые сахара – сложная задача, над которой работают научные коллективы во всем мире. При этом исследуются возможности использования непосредственно микроорганизмов, комплексов ферментов, химических гидролизующих агентов для эффективного превращения непищевого сырья в усвояемые сахара [3].

Основным фактором, сдерживающим переработку полисахаридов соломы пшеницы, является невысокая рентабельность этих производств, обусловленная недостатками подготовки сырья, высокими энергозатратами и низким выходом целевого продукта. Эта проблема может быть преодолена при решении задачи максимального использования исходного сырья. Технико-экономический анализ крупнотоннажных производств, ориентированных на выпуск продукции на основе углеводсодержащего растительного сырья, и мировая биотехнологическая практика показывают, что повышение рентабельности этих производств возможно только при переходе на комплексный вариант переработки сырья, в том числе вторичного. А также эффективной переработки отходов с выпуском продуктов фармацевтического, пищевого и кормового назначения.

По статическим данным министерства сельского хозяйства Республики Казахстан среди сельскохозяйственных культур по урожайности лидирует пшеница (рис. 1) [4].

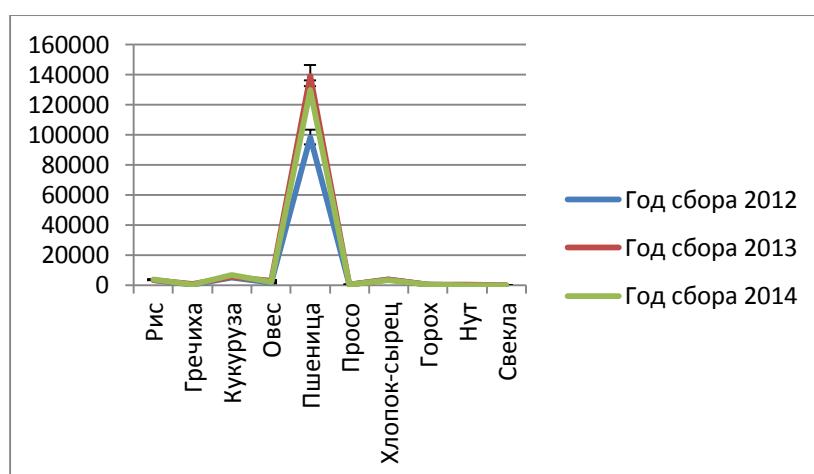


Рисунок 1 - Урожайность сельскохозяйственных культур по данным МСХ РК

Несмотря на то что к настоящему времени разработан и осуществлен ряд мер по переработке и утилизации соломы пшеницы, большая их часть является невостребованной. В большинстве случаев она используется на скормливание скоту и в качестве подстилки животным, остальная её часть запахивается в землю или сжигается на полях. Таким образом, данный отход

является крупнотоннажным, доступным и перспективным вторичным ресурсом сельскохозяйственного производства в Республике Казахстан.

Целью данного исследования является определение уровня ресурсов соломы пшеницы на территории Южно-Казахстанской области для последующего проведения процесса деполимеризации природных полисахаридов, а также исследование ее химического состава.

В настоящей работе исследовалась солома пшеницы, образующаяся в качестве отходов в аграрном секторе Южного Казахстана. Предварительно исследуемое растительное сырье измельчалось и сортировалось. Для химических анализов использовалось сырье, фракционированное через сита с размером частиц 2-3 мм.

Зольные вещества определяли сжиганием навески сырья с последующим прокаливанием в муфельной печи при температуре 600 °C [5]; содержание легко- и трудногидролизуемых полисахаридов определяли по методу Кизеля и Семигановского [6], лигнин - по методу Кенига в модификации Комарова с использованием 72%-й серной кислоты [7], пентозаны - по содержанию пентоз в гидролизатах легко- и трудногидролизуемых полисахаридов [8].

Для определения объема вырабатываемой пшеничной соломы были проанализированы статистические данные по сбору пшеницы в Республике Казахстан (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1  
*Валовый сбор пшеницы в Республике Казахстан, тысяч центнеров*

Год	Объем посевов пшеницы
2005	11 198,3
2006	13 460,5
2007	16 466,9
2008	12 538,2
2009	17 052,0
2010	9 638,4
2011	22 732,1
2012	9 841,1
2013	13 940,8
2014	12 996,9
2015	13 747,0

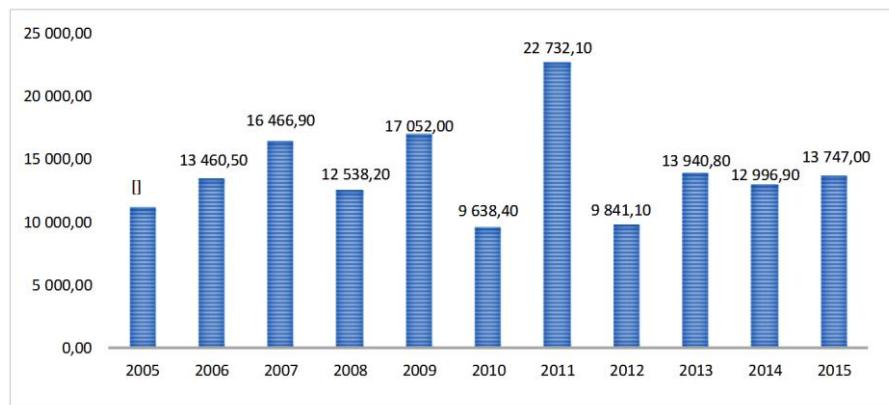


Рисунок 2 – Результаты валового сбора посевов пшеницы в Республике Казахстан за 2005-2015 гг.

Из рис. 2 видно, что в Республике Казахстан производится достаточное количество пшеницы, отходы переработки которой создают необходимую базу для осуществления процесса деполимеризации полисахаридов. В дальнейшем нами было протестировано выбранное растительное сырье с целью определения пригодности, так как химический состав его зависит от культуры, сорта, почвенно-климатических условий, агротехники, срока и условий хранения и других факторов (табл. 2).

**Таблица 2**  
*Химический состав пшеничной соломы, в масс.*

№ п/п	Наименование компонентов	Содержание, %
1	Зольные вещества	2,3
2	Легкогидролизуемые полисахариды	25,7
3	Трудногидролизуемые полисахариды	41,3
4	Гекозаны	35,3
5	Пентозаны (без уроновых кислот)	24,5

Как следует из табл. 2, химический состав соломы пшеницы находится в примерных соответствиях с ранее опубликованными данными других зарубежных и отечественных исследователей [9].

Основываясь на полученных результатах исследования химического состава, с учетом объема ежегодной выработки отходов, нами установлено, что солома пшеницы может быть использована в качестве исходного сырья для проведения деполимеризации полисахаридов.

#### Список литературы

1. Валиева Д.Г. Оценка биологической доброкачественности гидролизатов соломы / Д.Г. Валиева, Р.Т. Валеева, Р.М. Нуртдинов и др. // Аннотации сообщений «Научной сессии КНИТУ». - Казань, 2012. - С. 87.
2. Харина М.В. Оценка качества гидролизата соломы как среды для аэробного культивирования сахаромицетов / М.В. Харина, Р.М. Нуртдинов, А.Р. Шамсутдинова и др. // Пищевые технологии и биотехнологии: XII Междунар. конф. молодых ученых, 15-18 мая 2012 г.: Сб. тез. докладов. - Казань: Изд-во «Отечество», 2012. - С. 167.
3. Биктагирова Н.Н. Интенсификация процессов наращивания биомассы в спиртовом производстве / Н.Н. Биктагирова, Л.Х. Махмутова, М.В. Харина и др. // Пищевые технологии и биотехнологии: XII Междунар. конф. молодых ученых, 15-18 мая 2012 г.: Сб. тез. докладов. - Казань: Изд-во «Отечество», 2012. - С. 165.
4. Эшchanов К.В. Сельское хозяйство Казахстана как фактор стабилизации экономики в условиях кризиса // Новое слово в науке: перспективы развития: Мат. IX Междунар. науч.-практ. конф., Чебоксары, 7 авг. 2016 г. / Редкол.: О.Н. Широков и др. — Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. — № 3 (9). — С. 76–80.
5. Сушкива В.И. Безотходная конверсия растительного сырья в биологически активные вещества / В.И. Сушкива, Г.И. Воробьев. — Киров, 2007. — 204 с.
6. Галактионов С.Г. Асимметрия биологических молекул. — Минск: Высшая школа, 1978.
7. Кизель В.А. Успехи физических наук. - 1980. - С. 209.
8. Харина М.В. Исследование кинетики высокотемпературного гидролиза свекловичного жома сернистой кислотой / М.В. Харина, В.М. Емельянов // Вестник КГТУ, 2013. -№ 18. – С. 106, 191-193.
9. Цуканов С.Н. Гидротермобарический способ получения целлюлозы из отходов злаков / С.Н. Цуканов, В.В. Будаева // Ползуновский вестник, 2011. - № 4-1. - С. 236-239.
10. Коновалов Ю.Б. Оценка стабильности урожайности и формирующих ее показателей сортов яровой пшеницы в условиях Центрального региона / Ю.Б. Коновалов, А.А. Сулейман, Н.Н. Скорняков // Известия ТСХА. – 2005. – Вып. 2. – С. 29-40.

Получено 18.04.2018

УДК: 621.91.01

**Р.Б. Муканов, Т.М. Мендебаев**

Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, г. Павлодар

**А.Ж. Касенов, К.К. Абишев**

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

**А.С. Муканова**

Национальный центр экспертизы ЛС, ИМН и МТ МЗ РК, г. Павлодар

**КОНСТРУКЦИИ РЕЗЦОВЫХ ГОЛОВОК ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ**

*В статье представлена конструкция сборной резцовой головки. Инструмент обеспечивает возможность обработки отверстий с плоским дном, повышается стойкость, производительность, точность, уменьшает отклонение формы и снижается шероховатость обрабатываемой поверхности.*

*Мақалада құрама кескіш бастыектің құрылымы қарастырылған. Құрал тубі жазық тесіктерді өңдеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді, төзімділікты, өнімділікты, дәлдікты жогарылатады, пішіннен ауытқу азаяды және өндөлеттің беттің кедір-бұдырылғысы төмендейді.*

*The article deals with the processing of holes with new design of cutting tool - modular cutting head - turning holes. A design of modular cutting head and balancing the cutting forces acting on the carbide plate in the process of turning the hole is showed. Tool enables machining holes with a flat bottom, increases durability, performance, accuracy, and reduces the deviation and surface roughness is reduced.*

**Ключевые слова:** инструмент, точение, отверстие, резцовая головка, точность, качество.

Для обработки отверстий в сплошном материале разработана конструкция резцовой головки (рис. 1). Она состоит из двух ассиметрично расположенных резцов, которые изготавливаются совместно или крепятся к корпусу инструмента, и имеет режущие кромки, перпендикулярные осям головки [1, 2]. Режущая часть инструмента выполнена в виде резцов, расположение и конструкция которых позволяют заменить сверление торцовыми токами с использованием всех преимуществ точения перед сверлением.

Инструмент имеет повышенную жесткость, не имеет поперечной кромки, нагрузка при резании равномерно распределена по длине лезвий, уменьшены удельное давление и температура в зоне резания, что способствует повышению стойкости и улучшению качества обработки за счет выполнения на корпусе выглаживающих элементов, позволяющих уменьшить отклонения от круглости отверстия и шероховатость, а точность обработки значительно повышается в силу отсутствия дестабилизирующего влияния поперечной кромки.

При работе резцовой головки каждый резец снимает слой стружки следующим образом: при двух резцах внутренний резец образует цилиндр отверстия примерно 0,5 диаметра отверстия, в зависимости от принятых соотношений ширины резцов. Внешний резец срезает стружку на кольцевом участке обрабатываемого отверстия, остающемся после прохода внутреннего резца. Отсутствие поперечной кромки значительно улучшает условия резания и повышает качество обработки. Направляющие элементы на корпусе головки позволяют улучшить качество поверхности отверстия. Большая жесткость инструмента и выглаживание повышают точность и качество поверхности отверстия.

Для повышения стойкости сборной резцовой головки разработана конструкция с креплением резцов, изготовленных из твердого сплава, к корпусу винтами, что позволяет увеличить эксплуатацию инструмента, возможность замены в результате износа и увеличить ресурс за счёт переточки (рис. 2).

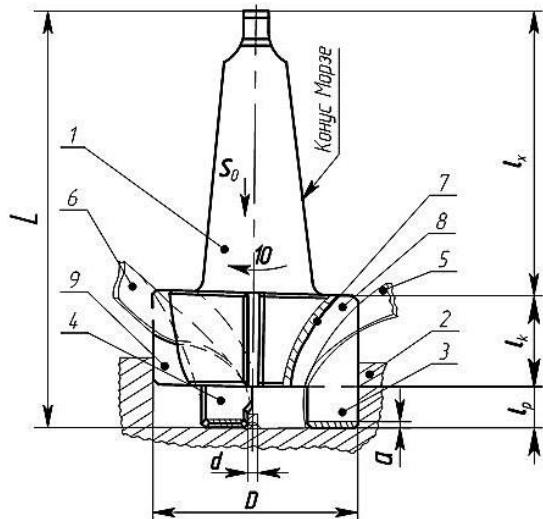


Рисунок 1 – Конструкция резцовой головки: 1 – резцовая головка; 2 – заготовка; 3 – резец, расположенный у периферии резцовой головки (внешний резец); 4 – резец, расположенный у оси резцовой головки (внутренний резец); 5 – срезаемая внешним резцом стружка (а – толщина среза); 6 – срезаемая внутренним резцом стружка; 7 – грязевая канавка (условно совмещена на чертеже с осью резцовой головки); 8 – стружечная канавка у внешнего резца; 9 – стружечная канавка у внутреннего резца; 10 – вращательное движение резцовой головки при точении отверстия;  $S_0$  – осевая подача; D – диаметр отверстия; d – диаметр стержня, остающийся вдоль оси заготовки, периодически обламывающегося и уносящегося стружкой;  $l_k$  – длина корпуса резцовой головки;  $l_p$  – вылет (высота) резца;  $l_x$  – длина хвостовика; L – длина резцовой головки; А-А – сечение для идентификации геометрии резца в плоскости, касательной к траектории выбранной точки режущей кромки резца; Б-Б – сечение резцов для идентификации их геометрии в плоскости, перпендикулярной оси резцовой головки

В сборной резцовой головке резцы расположены один к центру, другой к периферии. Это создаёт дисбаланс и крутящие моменты разной величины на левой и правой частях. Соответственно, снижается качество и точность обработки (точность, отклонения формы, шероховатость).

Для уравновешивания крутящих моментов разработана конструкция сборной резцовой головки с разноширокими резцами (рис. 3), где  $b_{n1}$  – ширина наружной твёрдосплавной пластины;  $b_{n2}$  – ширина внутренней твёрдосплавной пластины [3].

Ширина твёрдосплавных пластин принимается из условия равновесия крутящих торцевых моментов наружной и внутренней пластинок

$$M_{\text{кр.м.н.}} = M_{\text{кр.м.в.}} \quad (1)$$

Для единичной удельной силы, приходящейся на единицу длины режущих кромок твёрдосплавных пластин, формула (1) принимает вид (рис. 4).

$$P_{y\delta.n.} \times a \times b_n = P_{y\delta.e.} \times b \times b_e \quad (2)$$

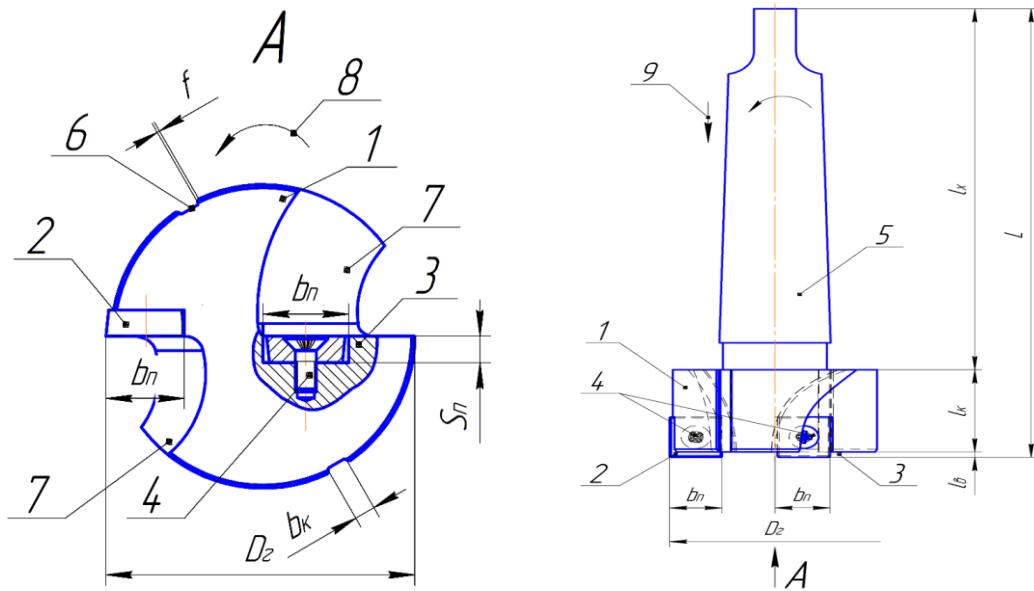


Рисунок 2 – Конструкция сборной резцовой головки: 1 – корпус сборной резцовой головки; 2 – наружная твёрдосплавная пластина; 3 – внутренняя твёрдосплавная пластина; 4 – винт; 5 – хвостовик сборной резцовой головки; 6 – грязевая канавка; 7 – стружечная канавка; 8 – вращательное движение сборной резцовой головки; 9 – осевое перемещение сборной резцовой головки;  $L$  – длина сборной резцовой головки;  $l_x$  – длина хвостовика;  $l_k$  – длина корпуса сборной резцовой головки;  $l_b$  – длина вылета твёрдосплавной пластины;  $b_n$  – ширина твёрдосплавной пластины;  $S_n$  – толщина твёрдосплавной пластины;  $b_k$  – ширина грязевой канавки на корпусе сборной резцовой головки;  $f$  – фаска на грязевой канавке;  $D_e$  – диаметр резцовой головки; вид А – вид для идентификации расположения твёрдосплавных пластин

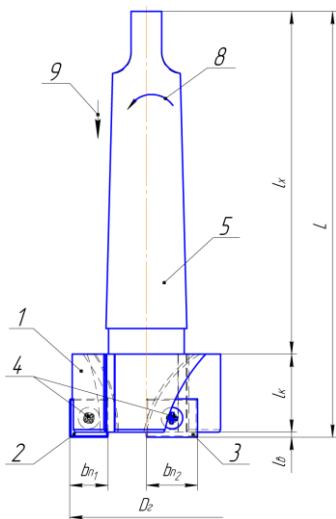


Рисунок 3 – Конструкция сборной резцовой головки

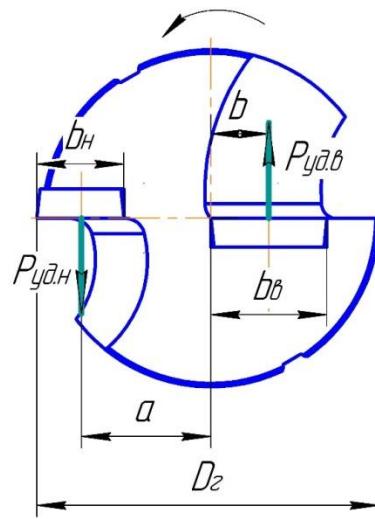


Рисунок 4 – Схема действия сил резания

Применение сборных резцовых головок позволит повысить качество обработки отверстия и уменьшить энергозатраты и себестоимость изделия, так как такие головки являются комбинированными инструментами и заменяют сверло, зенковку, зенкер и развертку.

#### Список литературы

1. Инновационный патент Республики Казахстан № 20211 на изобретение. Способ и инструмент для изготовления отверстий в сплошном материале / Н.С. Дудак, Е.К. Тастенов; Опубл. 17.11.2008. Бюл. № 11. – 15 с.: ил.
2. Инновационный патент Республики Казахстан № 22032 на изобретение. Новый способ и резцовая головка для получения отверстий точением / Н.С. Дудак; Опубл. 15.12.2009. Бюл. № 12. – 14 с.: ил.
3. Сборная резцовая головка для высокопроизводительного торцевого точения отверстий / Н.С. Дудак, Т.М. Мендебаев, Р.Б. Муканов и др. - Заявление на выдачу патента на изобретение № 2017/0315.1 от 19.04.2017 г.
4. Дудак Н.С. Обработка отверстий сборной резцовой головкой / Н.С. Дудак, Р.Б. Муканов, Т.М. Мендебаев и др. // Вестник гос. ун-та им. Шакарима. – Семей, 2017. – Т. 1. - № 2 (78). – С. 57-61.

Получено 18.04.2018

УДК 669.294

**A.V. Revutskiy, Zh.S. Onalbayeva**

D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, Ust-Kamenogorsk

**A.E. Kaynazarova**

JSC "Ulba Metallurgical Plant", Ust-Kamenogorsk

#### OPTIMIZATION OF TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF AGHLOMERATED POWDERS OF TANTAL (AGP) WITH IMPROVED CHARACTERISTICS

Данная статья затрагивает проблемы танталового конденсаторного производства, в частности заключающиеся в недостаточной миниатюризации готовых изделий, а также невысоких показателей физических и электрических характеристик исходного материала, который используется для изготовления конденсаторов. Уделается внимание технологии изготовления конденсаторных порошков тантала. Приведен анализ данных, полученных в ходе экспериментальных работ по оптимизации технологии производства конденсаторного порошка.

Берілген мақала танталдың конденсаторлық өндірісіне арналған, соның ішінде дайын бүйімдардың жеткілікті түрде өткізу нәзік болмауы, сонымен қатар конденсаторларды жасау кезінде қолданылатын бастапқы материалдың физикалық және электрлік сипаттамаларының төмен болуы проблемалары қарастырылған. Танталдың конденсаторлық ұнтақтарын жасау технологиясына көніл белгіліген. Конденсаторлық ұнтақтар өндіру технологиясын оңтайландыру бойынша жүргізілген зертханалық жұмыстар барысында алғынған мәліметтердің талдауы келтірілген.

This article touches upon the problems of tantalum capacitor production, in particular, the lack of miniaturization of finished products, as well as the low physical and electrical characteristics of the raw material used to manufacture capacitors. Attention is paid to the technology of manufacturing capacitor powders of tantalum. The analysis of the data obtained in the course of experimental work on optimization of the production technology of a capacitor powder is given.

**Keywords:** Capacitor powder, tantalum, tantalum hydride, modification, dehydration, agglomeration, chemical treatment, specific charge, bulk density

The development of modern technology, in particular the production of capacitors, is impossible without the creation of new materials whose properties provide improved product parameters. An analysis of the existing trends in the development of such materials for the

anodes of electrolytic capacitors shows that the most topical areas are the increase in purity, the increase in the specific surface and alloying with the aim of modifying the properties of the anodic oxide. The first direction should ensure a further increase in the operating voltage of the capacitors and a decrease in the leakage currents, the second direction should lead to an increase in the specific charges of the capacitors, the third direction should allow to purposefully change their characteristics.

Unfortunately, despite a rather large scientific reserve in all the above-mentioned areas, the nomenclature of domestic capacitor powders falls far short of the nomenclature of foreign firms in a number of parameters. The most significant, in our opinion, is the lag in the value of the specific charges of the capacitors, tk. In addition to the miniaturization of products (Picture 1), which in itself is of great importance, the increase in specific charges can reduce the consumption of scarce tantalum and increase the production of capacitors.

The solution of the problem of increasing the specific charge of powders with a fragmented particle shape is the use of agglomerated powders. Such powders can be obtained as a result of heat treatment of the starting powder (dehydration powder) having grain-size characterized by a high specific surface area, followed by grinding the formed sinter to the optimum size. The presence of granules ensures a good flow of agglomerated powders, and due to the combination of large and small pores, the anodes from these powders, with increased capacity, are characterized by good frequency characteristics.

In JSC "UMP" industrial experiments were conducted to determine the effect of preliminary technological operations of chemical processing, sieving and compaction on the electrical characteristics of the finished AGP (experiment 1).

The production of initial primary capacitor powders (PKP) with predetermined grain-size composition and specific surface area was carried out according to the existing technological parameters on the operating equipment of the capacitor powders obtaining section according to the standard technological scheme (Picture 2). The prepared hydrides were directed to a centrifugal classification operation, bypassing the dehydration step.



Picture 1 - Direct dependence of the size of the finished product from the starting material

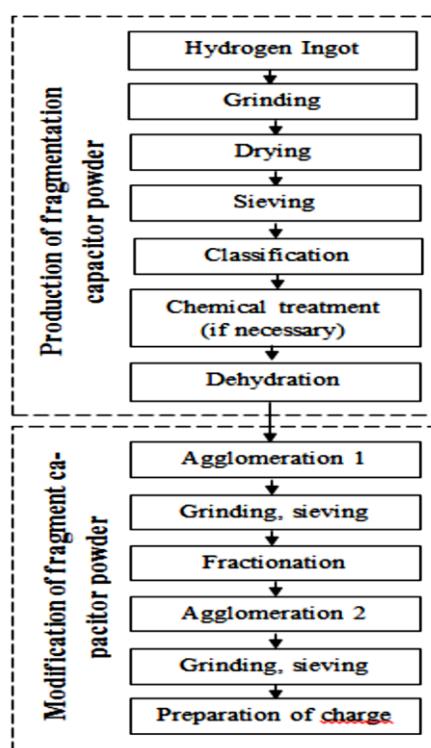
Charge number 1 was not subjected to chemical treatment. The components of charge No. 2 were treated in a solution containing 5% HCl, 1.1% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 0.3% HF, with a G: T ratio of 5 to 7 for 1 hour, charge No. 3 was formed up to chemical treatment and charge №4 after chemical treatment of the constituent batch. Charge No. 5 was prepared later, after the completion of the experiments on the first four charges, this is due to the receipt of additional requirements for the flowability of the finished product, on the part of consumers (Table 1).

In terms of the content of controlled impurities and the physical characteristics of the charge PKP, suitable for the production of AGP. To achieve the specified properties of the control panel, it was allowed to introduce hydrogenated material of adjacent classes into the composition of the charge of hydrogenated powders. At the same time, the mixing control panels differed by a specific surface by no more than 300 cm<sup>2</sup>/g.

In order to prevent the dehydrated powder from interacting with atmospheric air during unloading, the dehydration of PEP was carried out in tantalum containers with a lid as follows. Tantalum containers (from 1 to 3 pieces) with installed tantalum cages (from 1 to 3 pieces per container) were installed on the baking tray of the dehydration furnace. The tanks were filled with a powder of tantalum hydride with a mass of 3 to 3.5 kg. Filled cages were installed in a container one on top of another, the container was closed with a lid. The container with the containers was loaded into the oven and dehydration was carried out.

After the end of the dehydrogenation process, purified argon was introduced into the furnace at a rate of no more than 1.2 m<sup>3</sup> / h until the pressure in the furnace was equalized with atmospheric pressure (0.0 kgf/cm<sup>2</sup> on the scale of the manometer). Passivation was not carried out. The retort was opened and containers with dehydrated powder were unloaded from it. The lids from the containers were not removed.

Closed containers with dehydrated powder were mixed without delay into the agglomeration room and loaded into a pre-prepared agglomeration furnace. Further, the agglomeration furnace was immediately evacuated and agglomeration annealing was carried out.



Picture 2 - flow diagram of the production of capacitor powder

Table 1  
*Experimental data*

Sample No.	Chemical treatment	Chemical treatment Sieving	Preparation for sintering	Sintering, °C/min
Charge № 1	Without chemical treatment	No	No	1500/60
Charge № 2	5 % HCl, 1,1 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 0,3 % HF, L:S from 5 to 7 for 1 hour. Before batch preparation	No	No	1500/60
Charge № 3	5 % HCl, 1,1 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 0,3 % HF, L:S from 5 to 7 for 1 hour. After the preparation of the charge	250	No	1500/60
Charge № 4	5 % HCl, 1,1 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 0,3 % HF, L:S from 5 to 7 for 1 hour. Before batch preparation	250	No	1500/60
Charge № 5	5 % HCl, 1,1 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 0,3 % HF, L:S from 5 to 7 for 1 hour. Before batch preparation	250	Shaking	1500/60

Thus, from the moment of unloading the material from the dehydrogenation furnace and before loading into the agglomeration furnace, the material is constantly in an inert medium, which excludes its interaction with air oxygen. In order to give the AHP the required physical characteristics, the sintered material that has undergone a sequential grinding operation on the roller crushers was sent for fractionation. The fractionation operation was carried out on a shaker or manually. The sub-lattice fraction of the AGP powder after the first stage of high vacuum sintering was directed to the second stage of high vacuum sintering. After completion of sifting and grinding, the powders were combined after all stages of high-vacuum sintering and averaged by the method of batching. At the end of the experiment, the results were analyzed (Table 2).

Table 2  
*Results of the experiment*

Sample No.	Sintering, °C/min	Finished product characteristics				
		Charge, μC/g	Leakage current, nA/μC	Bulk density, g/cm <sup>3</sup>	Particle size by Fisher, μm	Strength of a non-sintered anode, H
Charge №1	1500/60	4420	0,24	3,54	8	34,3
Charge №2	1500/60	4620	0,2	3,5	7,6	33,3
Charge №3	1500/60	4460	0,22	3,45	7,3	34,3
Charge №4	1500/60	4740	0,19	3,47	7,3	34,3
Charge №5	1500/60	4430	0,2	3,59	8,9	31,4

According to the results of experiment No. 1, it is possible to draw conclusions: - a decrease in the specific charge, an increase in the grain size according to Fisher is associated with an increased loading of tantalum hydrides for chemical treatment and, as a consequence, with the ridding of the material or its strong compaction during the filtration operation;

- AGP obtained from a hydride that has not been chemically treated has a significantly higher iron content than AGP obtained from a chemically treated hydride and also has increased leakage currents and a lower specific charge.

- an increase in the specific charge is due to the screening of the hydride through a 250 μm

sieve after drying.

To test the effect of condensation of the initial hydride in the tantalum cages on the dehydration-agglomeration operation on the value of the specific charge, experiment No. 2 was carried out. As a starting material, the charge of hydride No. 5 was used. The charge was formed after chemical treatment. The hydride was compacted by tumbling. The remaining parameters were similar to experiment No. 1.

AGP powder, obtained with free filling of hydride in the cages, has a lower bulk density and average Fisher grain size, as well as greater strength of unsintered anodes compared to AGP obtained by compaction. It was also noted that the AGP, obtained by free agglomeration of the hydride, has an increased specific charge in the sintering of the anodes. The difference in the specific charge values was from 160 to 210  $\mu\text{C/g}$ .

According to the results of experiment No. 2, we can conclude:

- AGP powder obtained with free filling of hydride in the cages (Picture 3), has a lower bulk density and the average grain size according to Fisher, as well as greater strength of unsintered anodes compared to AGP obtained by compaction of hydride;
- AGP, obtained by free pouring hydride in the cages, has an increased value of specific charge.



Picture 3 - Agglomerated tantalum powder

Thus, during the conducted studies it was established:

1) Conducting preliminary chemical treatment in acid solution, before preparation of charge the initial powders with subsequent dispersion of the material after drying, favorably affects the increase in the specific charge of the finished AGP.

2) The use of tantalum containers with lid for dehydration of the control panel allows obtaining AGP with optimized electrical, physical and chemical characteristics.

#### Bibliography

1. Григорович В.К. Дисперсионное упрочнение тугоплавких металлов / В.К. Григорович, Е.Н. Шефтель. - М.: Металлургия, 1981. – 340 с.
2. Гегузин Я.Е. Физика спекания. - М.: Наука, 1982.
3. Розенберг Л.А. Состояние кислорода в tantalовых порошках / Л.А. Розенберг, С.В. Штельмах // Металлы. - № 4. – С. 163.
4. Галактионова Н.А. Водород в металлах. - М.: Металлургия, 1967.

5. Диомидовский Д.А. Контроль и автоматизация процессов в цветной металлургии: в 2 ч. — М.: Металлургия, 1967. - Ч. 2: Автоматизация металлургических процессов.- 403 с.

Получено 18.04.2018

---

ӘОЖ 004.056.2=512.122

**Д.Ж. Сатыбалдина, Ж. Сайлауқызы, А.А. Садыков, Н.Н. Ташатов**  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ.

#### ХЭММИНГ КОДЫН БЛИС НЕГІЗІНДЕ АППАРАТТЫҚ ЖҰЗЕГЕ АСЫРУ

*В статье исследуются основные принципы построения кодов Хэмминга, их свойства и способы реализации кодирующих и декодирующих устройств. Разработаны цифровые схемы кодера и декодера Хэмминга в САПР Vivado (Xilinx) с использованием языка описания аппаратуры Verilog HDL, произведена апробация разработанных схем на ПЛИС серии Artix-7 фирмы Xilinx. Реализованы программные модули кодирования и декодирования на основе математических моделей и алгоритмов. Разработан цифровой блок обнаружения и исправления ошибок на основе помехоустойчивого кодирования Хэмминга.*

*Мақалада Хэмминг коды құрылымының негізгі қағидалары, олардың қасиеттері мен кодтау және декодтау құрылғыларын енгізу жолдары қарастырылған. Vivado (Xilinx) АЖЖ-де Verilog HDL аппаратурасының сипаттау тілін қолдана отырып, Хэммингтің кодтау және декодтау сандық сұлбалары өзірленді, Xilinx фирмасының Artix-7 сериялы БЛИС-да құрылған сұлбалардың апробациясы өткізілді. Математикалық модельдер мен алгоритмдер негізінде кодтау және декодтаудың бағдарламалық модульдері жүзеге асырылды. Хэмминг кедергіге төзімді кодтаудың негізінде қателіктерді анықтайдын және түзететін сандық блок құрастырылды.*

*The main principles of Hamming codes construction, their properties and ways of realization of coding and decoding devices are investigated in the article. Digital circuits of the encoder and decoder of Hamming in Vivado CAD (Xilinx) using Verilog HDL hardware description language are developed, approbation of the developed circuits on FPGAs of the Artix-7 series from Xilinx is made. Software modules for encoding and decoding based on mathematical models and algorithms are implemented. A digital block for detecting and correcting errors based on noise-immune encoding of Hamming is developed.*

**Кілттік сөздер:** Хэмминг коды, сандық блок, кодтау, декодтау, БЛИС, симуляция, бит, АЖЖ.

Қазіргі таңда ақпарат алмасу үшін әртүрлі сандық байланыс жүйелері кеңінен қолданыс табуда. Ақпаратты жіберу және сақтау жүйелерін дамытуда кездесетін негізгі мәселелердің бірі - шұлы арналар бойынша сигналдардың бүрмаланбауын қамтамасыз ету мәселесі. Бұл мәселені шешу үшін, әдетте, кедергіге тұрақты кодтау әдістері қолданылуда, олардың дамуы соңғы онжылдықтарда маңызды жетістіктерге жетті. Кедергіге тұрақты кодтау өткен ғасырдың 40-жылдарының соңында американцық инженер-математик Клод Шеннонның «Байланыстың математикалық теориясы» атты мақаласын зерттеңін нәтижесінде пайда болды [1]. Бұл мақала ақпараттық теорияның дамуына жалпы серпін берді. Сонымен қатар бірінші кедергіге төзімді кодтар Ричард Хэммингтің жұмысының арқасында [2] бұрыннан пайда болғанын атап оту керек. Осы саладағы зерттеу қарқындылығы жылдар өте келеған арта түсетеңі қысынды. Бұған ішкі және шетелдік басылымдарында мақалалар жарияланып отырғаны күеландырады.

Ғылыми жұмыстың мақсаты - Хэмминг кодын зерттеу арқылы бағдарламаланатын логикалық интегралды сұлбасы (БЛИС) негізінде қателіктерді анықтайдын және түзететін сандық блокты жүзеге асыру.

Зерттеу барысында 4 биттік мәліметтер блогынан тұратын және код жылдамдығы  $\frac{1}{2}$  болатын, екі қатені анықтап, бір қатені түзететін Хэмминг коды таңдалынып алынды [3,

4]. Сипаттау тілі ретінде аппаратураны сипаттау және тексеру үшін қызмет ететін, Verilog тілінің кеңейтілімі болып табылатын Verilog HDL таңдалынды [5]. Осы алгоритмдерді аппараттық қамтамасыз етуді зерттеу үшін Xilinx фирмасы әзірлеген, арнада 650 Мбит/с жұмыс істай алатын, тікелей кристалда 5 Мбит жадысынан және DDR2 жеке микросхемасында 128 Мбайт тұратын Artix-7 тобының XC7A100T БЛИС қолданылды. Берілген БЛИС үшін бағдарламалық қамтамасыздандыруды әзірлеуді қолдайтын Vivado жобалау ортасы таңдалды. Әзірленген аппараттық блоктарды түзету және тестілеу Nexys 4 DDR платасында орындалды [6].

Хэмминг кодтары өзін-өзі бақылау кодтары, яғни мәліметтерді жіберу кезінде қателерді автоматты тұрде таба алатын кодтар болып табылады. Оларды құру үшін әрбір сөзге бір қосымша (бақылау) екілік разряд тіркеп, кез келген санның жазылуындағы бірліктер саны, мысалы, тақ болуы үшін, сол разрядтан бір санды таңдау қажет. Жіберілетін сөздің қандай да бір разрядындағы бір қателік (соның ішінде бақылау разрядында) бірліктердің жалпы санының жұптығын өзгертеді. Бірліктер санын санайтын, саның екілік цифrlарының арасындағы модуль екі бойынша есептегіштер қателіктер жайындағы сигналды көрсетуі мүмкін.

Verilog HDL – электронды жүйелерді сипаттау және модельдеу үшін қолданылатын аппаратураны сипаттау тілі. Verilog HDL тілі, негізінен, абстракцияның әртүрлі деңгейлерінде аналогтық, сандық және аралас электронды жүйелерді жобалауда, тексеруде және жүзеге асыруда қолданылады.

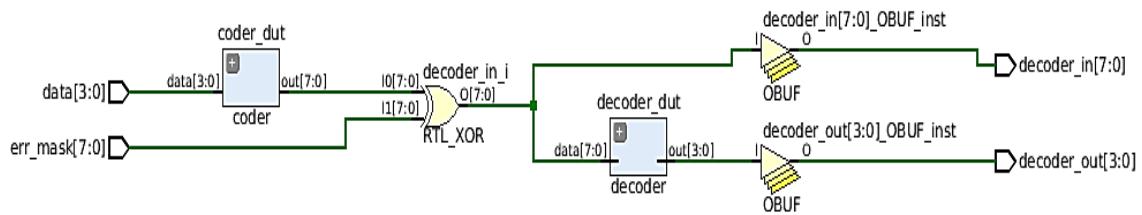
Vivado АЖЖ-сі алғашында Xilinx 14.7 нұсқасының әзірлеу тәсілдерінің жиынтығының құрамында көрсетілді. Интерфейс негізінде, IDE PlanAhead қолданылған, алдымен жобаның мінездемелерін талдау мен топологияларды жобалауға бағытталған. Жобалаудың мұндай түрі бағдарламашыға үлкен логикалық көлемді БЛИС-пен жұмыс жасау барысында туындастырылған. Мәселелерді шешуге бағытталған.

БЛИС конфигурациясын алу үрдісінде бағдарламалық қамтамасыздандыру әртүрлі компоненттер арасында байланыстар тізімін жасап, кейін осы компоненттерді кристалға жинастырып және олардың арасында бағдарламаланатын байланыстар орнатады.

Платада 128 Мбайт көлемді DDR2 жадысы орнатылған. NEXYS 4 DDR XILINX Artix-7 FPGA XC7A100T-1CSG324C БЛИС негізінде құрастырылған, қолдануға дайын, толық аяқталған түзететін платформа болып табылады. Платада белгілі интерфейстердің (USB, Ethernet және т.б.) жалғағыштарының және мықты БЛИС болуы комбинациялық логикадағы қарапайым іске асырулардан қуатты кірістірілген процессорларға дейінгі кең ауқымды тапсырмаларды шешуге мүмкіндік береді. Платада акселерометр, температура датчигі, MEMs сандық микрофон, динамикамен қүшеткіш және көптеген шығыс/кіріс перифериялық құрылғыларының датчиктерінің болуы, Nexys4 DDR-дің қосымша компоненттерсіз жұмысын қамтамасыз етеді. Nexys 4 DDR жана жоғары өнімді Xilinx Vivado® Design Suite бағдарламалық қамтамасыз етумен және құрамына ChipScope™ және EDK кіретін ISE® құралдарымен үйлесімді болып келеді.

Жүзеге асырылған кодтаушы 4-биттік сөзді 8 разрядтық Хэмминг кодына түрлендіреді, түрлендірғеннен кейін сөз жадыда сакталады немесе шиналар арқылы жіберіледі. Жіберу немесе сактау үрдісінде сөзде қателік пайда болуы мүмкін, сондықтан декодтаушы сөзді тек қана кодтан шығарып қоймай, жекеленген қателерді түзетеді.

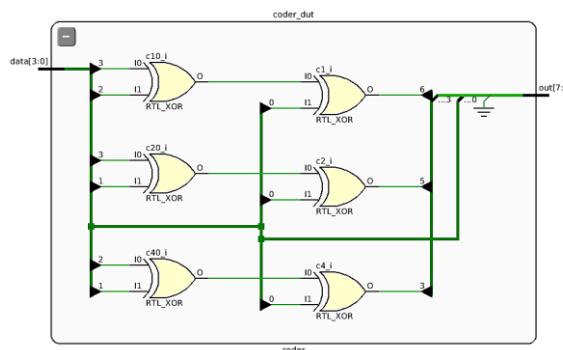
Кодтау және декодтау жүйесінің құрылымдық сұлбасы 3 – суретте көрсетілген. Кодтау келесілердің қамтиды: параллель кодты тізбектей кодқа алмастыратын жылжымалы регистр және тексерілетін символдарды қалыптастыратын модуль екі бойынша қосудың логикалық элементтері. Бұл элементтердің саны кодтық комбинацияның тексерілетін элементтер санымен анықталады.



1-сурет - Кодтау және декодтау жүйесінің құрылымдық сұлбасы

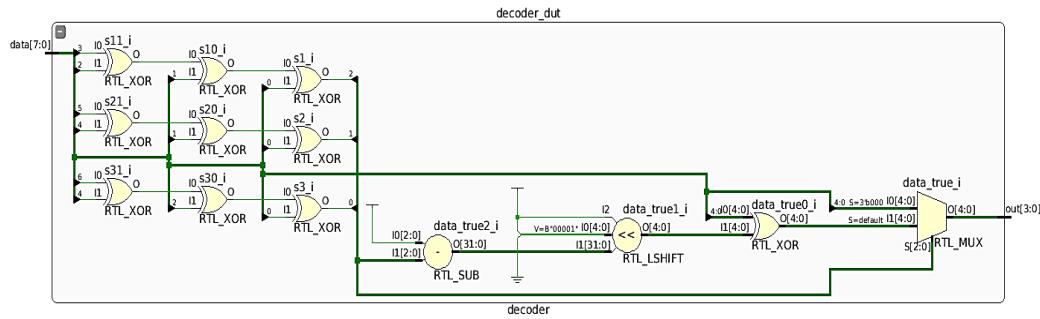
Кодтау барысында тексерілетін (7,4) код элементтерін әрбір элемент бойынша қалыптастыратын қағидалық электрлік сұлбасы 3–суретте көрсетілген.

Хэмминг декодтаушысы кабылданған комбинацияның шынайылығын тексеріп қана қоймай, қателік пайда болған жағдайда оны түзетуі қажет, сондықтан декодтау екі бөлімнен тұрады: синдромды анықтау сұлбасы және қателікті түзету сұлбасы. Сонымен қатар декодтау құрамына тізбектей кодты параллель кодка алмастыратын регистр кіреді. Синдромды анықтау сұлбасы модуль екі бойынша қосудың логикалық элементтерінен тұрады. Онда қабылданған ақпараттық символдармен тексерілетін матрицаға сәйкес тексерілетін символдарды анықтау жүзеге асырылады. Модуль екі бойынша келесі сумматорларда қабылдау кезінде алғынан тексерілетін элементтерді қосу жүзеге асырылады, нәтижесінде код синдромы алынады. Қателікті түзету сұлбасы “және” логикалық элементтерден тұрады, олардың ішінде қате разряд үшін және модуль екі бойынша қосудың логикалық элементтері үшін қателік сигналы қалыптасады да, қате разрядты түзету орындалады (оны терістету). “Және” элементтері мен модуль екі бойынша сумматорлар саны кодтық комбинацияның ақпараттық элементтер санымен анықталады, себебі тексерілетін бөлімдегі қателік хабарламаның бүрмалануына әкелмейді және әрі қарай өндеуде бұл бөлік қатыспайды. Декодтау қағидалық электрлік сұлбасы 3–суретте көрсетілген.

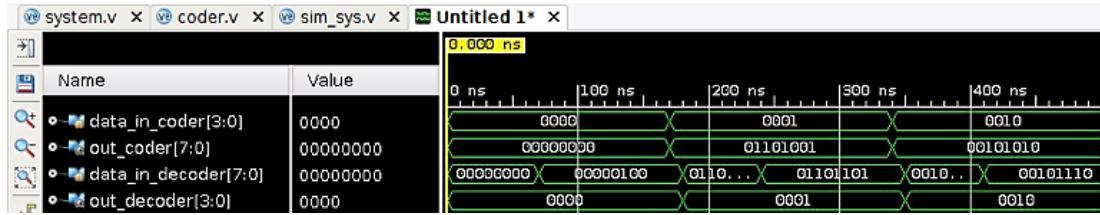


2-сурет - Vivado ортасындағы кодтау сұлбасы

Хэмминг кодында ақаулық орынды есептеу үшін бақылау коды жүйенің шығысындағы кодпен ауыстырылады. Келесі болып, сегмент коды анықталатын қателік синдромы есептеледі, яғни қателік Хэмминг кодының 3-ші ақпараттық битіне сәйкес келетін 6 битінде орын алған. 4 – суретте симулятордағы сұлбаны тексерудің нәтижесі көрсетілген.



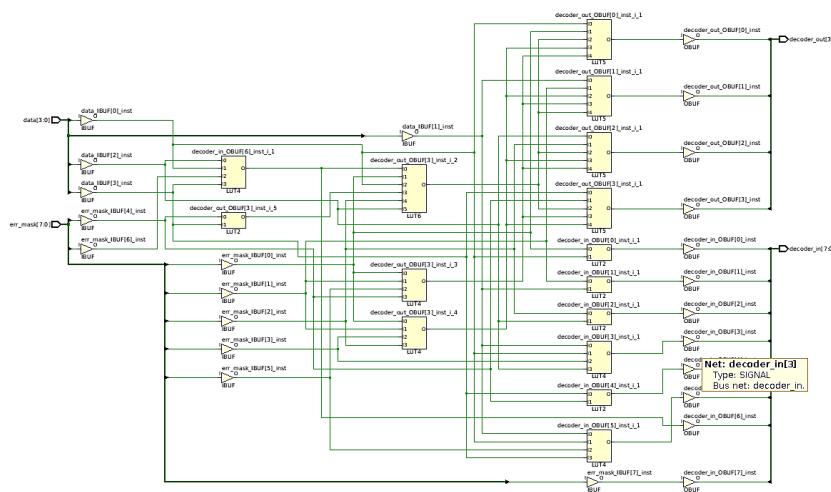
3-сүрет - Vivado ортасындағы декодтау сұлбасы



4-сүрет - Vivado ортасындағы кодтау және мен декодтау уақыт диаграммалары  
Тестілеу еki кезеңде жүргізілді:

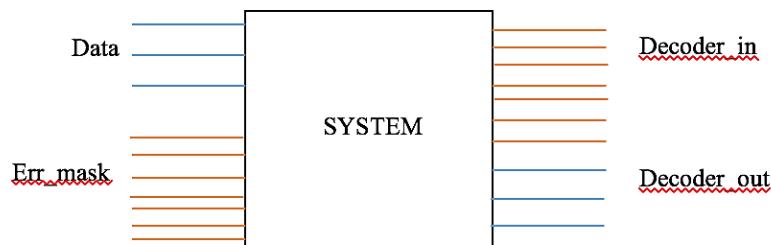
1) кодтаушының кірісіне сигналдардың мүмкін болатын комбинациялары жіберіліп, декодтаушының шығысы талданды. Мақсаты - сандық сигналдарды кодтау және декодтау кезіндегі Хэмминг кодтау алгоритмінің дұрыстығын тексеру;

2) кіріске сигналдардың мүмкін болатын комбинациялары жіберіліп, шығыста кодтау нәтижесіне жекеленген қателіктер қосылып отырды, пайда болған қателігі бар код декодтаушының кірісіне жіберіліп отырды. Декодтаушының шығысы талданды. Мақсаты - жекеленген қателіктерді анықтау мен түзетуді орындағын декодтаушы жұмысын тексеру. БЛИС базисінде сұлбаларды жобалау 5-сүретте ұсынылған.



5-сүрет - БЛИС базисінде сұлбаларды жобалау

Кодтаушы мен декодтаушының жұмысқа қабілеттілігін анықтау үшін БЛИС микроСұлбасында 6-суретте көрсетілген сандық блок құрастырылды.



6-сурет - Сандық блок

Құрастырылған блоктың функционалдығы 5-суреттегі сұлбалармен сәйкес келеді.

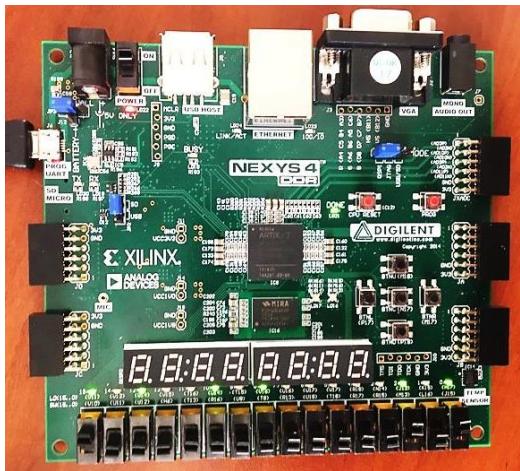
Жүзеге асырылған сұлбада кіріс data [0], data [1], data [2], data [3] және шығыс decoder out[0], decoder out[1], decoder out[2], decoder out[3] интерфейстері бар. Сұлбаны БЛИС-қа тексеру үшін құрылғының виртуалды порттарын нақты құрылғылармен байланыстыру қажет. Жұмыс барысында виртуалды порттар R15, M13, L16, J15, V11, V12, V14, V15, T16, U14, T15, V16, V10, U11, U12, H6, T13, R16, U8, T8, N14, J13, R15, H17 қосқыштар мен жарықдиодтарына шығарылған ретке келтірушүү платаның енгізу-шығару порттарымен байланыста болды.

Қосқыштар мен микросұлбалардың жоғарғы қатары кодтау, ал микросұлбалардың төменгі қатары декодтау қызметін атқарады. Қосқыштың ортанғы қатары – жіберу желілері. 0-3 қосқышы арқылы 4 биттік сөз енгізіледі. Кодтаушыны басқаруды енгізулеріне логикалық 0 берілгенде, сөзді оку мен бақылау разрядтарын қалыптастыру жүзеге асады. 8-дік битке ауыстырылған 4 биттік сөз жарық диодтарының жоғарғы қатарына шығарылды.

Бірқатар қосқыштар арқылы жіберу желісінде қателікті жасағаннан кейін, бастапқы сөз жарық диодтарының төменгі қатарында пайда болады (7-сурет).



7-сурет - Сандық сигналдарды кодтау және декодтау кезіндегі Хэмминг кодтау алгоритмінің дұрыстығын тексеру



8,а—сурет. Декодер жұмысындағы жекелеген қателіктерді анықтау және түзету



11,б—сурет. Декодер жұмысындағы екілік қателерді анықтау және жекеленген қателерді түзету

Есептеуіш техника құрылғылары мен элементтерінің математикалық модельдері кедергіге төзімділік пен кедергіге тұрақтылықты есепке ала отырып, теориялық және тәжірибелік зерттеулер максатында жүргізді. Хэмминг кодтарын құру қағидалары, олардың қасиеттері, сонымен қатар кодтау және декодтау құрылғыларының жүзеге асыру әдістері таныстырылды. Хэмминг кодын БЛИС негізінде аппараттық жүзеге асыру барысында сандық сигналдарды кодтау және декодтау кезіндегі алгоритмінің дұрыстығын тексеру және де жекеленген қателіктерді анықтау мен түзетуді орындағайтын декодтаушының жұмысын тексеру бойынша нәтижелер алынды.

#### Әдебиеттер

- Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Technical Journal. -1948. - Vol. 27. - P. 379-423.
- Hamming R.W. Error detecting and error correcting codes // Bell System Tech. J., 29. - 1950. -April. -P. 147-160.
- Питерсон У. Коды, исправляющие ошибки // М.: Мир, 2009.- 593 с.
- Поляков А.К. Языки VHDL и Verilog в проектировании цифровой аппаратуры на ПЛИС // М.: МЭИ, 2012. - 221 с.
- Бояринов И.М. Самопроверяющиеся схемы и алгоритмы декодирования двоичных кодов Хэмминга, БЧХ-кодов и кодов Рида-Соломона // М.: Институт системного анализа РАН, 2008.-111 с.
- [https://reference.digilentinc.com/\\_media/nexys4-ddr:nexys4ddr\\_rm.pdf](https://reference.digilentinc.com/_media/nexys4-ddr:nexys4ddr_rm.pdf).

Получено 18.04.2018

УДК 669.017.11

**А.Р. Толеуова, Б.К. Балбекова**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

**А.Х. Нурумгалиев**

Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ СТАЛИ,  
РАСКИСЛЕННОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСНЫХ СПЛАВОВ**

*В статье приведен металлографический анализ углеродистой стали, раскисленной комплексным сплавом Са–Ва. В результате такого раскисления улучшаются качественные характеристики стали, что благотворно воздействует на свойства и структуру стали при ее дальнейшей эксплуатации.*

*Мақалада Са–Ва қышқылсыздандырылған кешенді қорытпалар, тотықсыздандырылған көміртекті болаттың металлографиялық талдауы келтірілген. Мұндай қышқылсыздандыру нәтижесінде болаттың сапалық сипаттамалары жетілдіріледі, ол өрі қараң пайдалану кезінде болаттың қасиеті мен құрылымына жағымды әсер етеді.*

*In the article the metallographic analysis of carbon steel, deoxidized by the complex alloy Sa - Ba, is given. As a result of this deoxidation, the qualitative characteristics of the steel are improved, which has a beneficial effect on the properties and structure of the steel during its further operation.*

**Ключевые слова:** сталь, свойства, структура, температура, комплексный сплав.

Перспективным направлением, позволяющим экономить дорогостоящие металлы, значительно повышать физико-механические и технологические свойства сталей, является микролегирование, которое оказывает существенное влияние на чистоту стали, изменяет условия кристаллизации, строение приграничных зерен, способствует получению однородной структуры. Совершенствование состава сталей с целью повышения надежности и долговечности деталей машин требует всестороннего изучения рафинирующего, модифицирующего и легирующего влияния микродобавок.

Малые добавки элементов, проявляющих высокую химическую активность по отношению к железу и примесям, входящим в его состав, оказывают комплексное воздействие на структуру и свойства стали. При этом в результате модифицирующего и рафинирующего эффекта микродобавок изменяются количество, дисперсность и морфология неметаллических включений, а при легировании матрицы – прокаливаемость, однородность структуры и сопротивление хрупкому разрушению сталей.

Общими потребительскими требованиями к конструкционным сталим являются наличие у них определенного комплекса механических свойств, обеспечивающих длительную и надежную работу материала в условиях эксплуатации, и хороших технологических свойств (обрабатываемости давлением, резанием, закаливаемости, свариваемости и др.). Необходимые технологические и потребительские свойства конструкционных сталей и сплавов в основном обеспечиваются рациональным выбором химического состава, улучшением металлургического качества, соответствующей термической обработкой и поверхностным упрочнением.

Известно, что повышение в стали остаточного содержания кальция до нескольких сотых долей процента способствует эффективному повышению ее ударной вязкости при отрицательных температурах, выравниванию продольных и поперечных значений ударной вязкости, а также улучшению свариваемости. Положительное влияние микродобавок кальция обусловлено эффективным удалением серы из твердого раствора и связыванием ее в сульфиды глобуллярной формы.

Комплексные ферросплавы с щелочноземельными элементами кальцием и барием имеют большую перспективу в металлургии чугуна и стали как модификаторы, раскис-

лители и десульфураторы. Они имеют относительно низкую температуру плавления и большую плотность, что способствует полному усвоению их металлом при расскислении. Барийевые комплексные сплавы являются также активными дефосфораторами. В отличие от расскисления металла стандартными ферросплавами, комплексные сплавы с щелочноzemельными элементами глобуляризуют и равномерно распределяют неметаллические включения, что способствует упрочнению чугуна, а у стали увеличивается ковкость.

Исследования по теме осуществлялись методами микроскопического анализа и определением механических свойств. Для изменения фазового состава, структуры и свойств сплавов применялись комплексное легирование, термическая обработка металлов. Выявление микроструктуры стальных образцов проводили путем травления поверхности шлифов реактивом Ржешотарского (раствор 4% азотной кислоты в спирте). Исследование фазового состава и структуры сплавов проводилось на оптическом микроскопе Leica при 100- и 500-кратном увеличении.

Выплавка стали, раскисленной щелочноzemельными элементами кальцием и барием, осуществлялась в печи Таммана, предварительно нагретой до 1600 °C, затем проводилось медленное охлаждение, т.к. микроструктуру сталей изучают в равновесном состоянии, т.е. в таком состоянии, когда процессы фазовых превращений полностью произошли, что достигается только при очень медленном охлаждении. Микроструктура стали, полученной в процессе такого охлаждения, представлена на рис. 1-8, ее химический состав в таблице.

#### *Химический состав стали Ст3сп*

Марка стали	Химический состав, %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ca	Ba	Al
Ст3сп	0,2	0,4	0,6	0,025	0,025	0,7	0,25	0,06	0,02	0,004

На рис. 1 представлена феррито-перлитная структура полученной стали. Феррит образует сетку по границам зерен. Отдельные иглы феррита выделяются в аустените по двойниковым границам. Внутри одного зерна, окруженного сеткой феррита, видно несколько колоний перлита. В том случае, если зерна свободного феррита имеют ту же ориентацию, что и феррит перлита, граница между ними не образуется (верхний правый угол микрофотографии).

Более крупные участки перлита состоят из нескольких колоний, которые различаются по контрасту, обусловленному неодинаковой ориентацией пластинок карбида. Наличие в составе стали кальция также дает благоприятный результат, так как известно, что положительное влияние микродобавок кальция обусловлено эффективным удалением серы из твердого раствора и связыванием ее в сульфиды глобулярной формы.

На рис. 2 явно прослеживается игольчатая структура. В феррите наблюдаются выделения, особенно по границам зерен. Перлит, содержащий пластинки цементита, одинаково ориентирован на довольно протяженных участках. Он перемежается с зернистым цементитом. В верхнем правом углу микрофотографии не видно четкой границы между зернами доэвтектоидного феррита и перлита, она появляется в нижней части микрофотографии. Иногда группы пластинок цементита попадают в плоскость косого сечения.

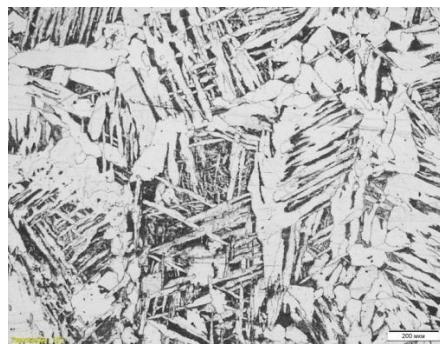


Рисунок 1 – Феррит и перлит, \*100

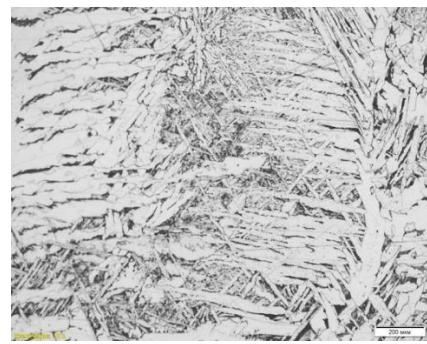


Рисунок 2 – Игольчатая структура,\*100

Также хотелось бы отметить, что имеются признаки неравномерного охлаждения (рис. 3), что свидетельствует о том, что либо имелись отклонения от технологии кристаллизации сплавов, либо нарушены режимы охлаждения (температура, время и скорость охлаждения). На рис. 4 представлен участок шлифа с перлитной структурой (феррит и тонкопластинчатый перлит). Внутри ферритных зерен и особенно по их границам встречаются тонкие выделения. Межфазовые границы перлита и феррита четкие, прямые. Если граница между перлитом и доэвтектоидным ферритом отсутствует, контур перлитных зерен не непрерывен и состоит из контуров отдельных пластин цементита различной длины.

На некоторых участках (рис. 5) весьма четко прослеживается ферритная структура (свыше 90%). Видны ферритные зерна с неровными границами и выделениями по границам. Перлитные участки неоднородны по размеру и форме.

На поверхности отдельных ферритных зерен образуется рельеф в виде морщин; существует также тонкопластинчатый перлит.

Как уже отмечалось выше, ввиду неравномерного охлаждения сплава на некоторых участках шлифа также можно наблюдать скопление неметаллических включений (рис. 6) и присутствие пор по сечению металла (рис. 8).



Рисунок 3 – Признаки неравномерного охлаждения, \*100

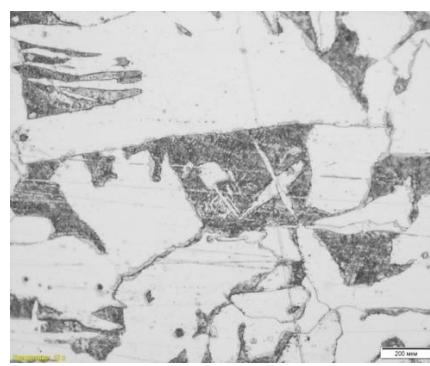


Рисунок 4 – Структура перлита, \*500

Вероятнее всего, скопление включений является следствием низкого содержания количества кальция, который является в данном случае элементом-модификатором, что не позволяет более полно удалить неметаллические включения и снизить их количество до требуемых значений, определяющих наиболее выгодные механические характеристики стали.

Неметаллические включения (рис. 7) при раскислении полученной стали были глобулярной формы, более мелкими и с отсутствием строчечных включений глинозема и скоплений оксидов. Это обеспечивается благодаря кальцию и барнию в составе сплава, которые проявляют, кроме десульфурирующей и дефосфорирующей способности, также и модифицирующие свойства, аналогичные поверхностно-активным веществам, что проявляется в коагуляции оксидов в легкоплавкие комплексы, легко удаляемые из объема стали.

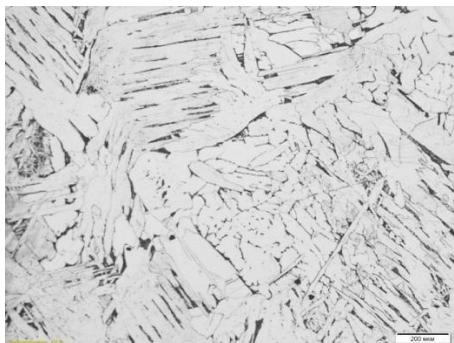


Рисунок 5 – Структура феррита, \*100

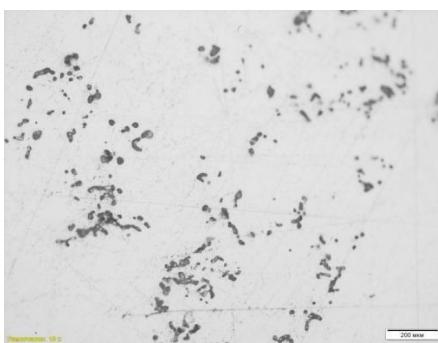


Рисунок 6 – Скопление включений, \*100



Рисунок 7 – Единичные неметаллические включения, \*100



Рисунок 8 – Поры, \*500

Действительно, в промышленном металле отмечается модифицирующее действие бария. Обычно модифицирующее действие оценивается по влиянию на размеры неметаллических включений, на размеры первичного зерна в литом металле, технологическую пластичность и эксплуатационные свойства металла. При производстве конструкционного и транспортного металла после введения комплексных сплавов с барием отмечается измельчение неметаллических включений (но барий в них не определяется), уменьшение первичного зерна, снижение анизотропии механических свойств и повышение пластичности литого металла.

Анализ свойств эффективных модификаторов показывает, что обычно они отличаются малой растворимостью в стали, высокой химической активностью (большим сродством к кислороду, сере, азоту, углероду) и краткосрочностью действия, сопровождаемого длительным повышением свойств стали. В этом отношении барий подходит под все требования и может быть эффективным модификатором. Так, отсутствие крупных включений

после введения бария в сталь может быть связано с высокой поверхностной активностью бария. Присутствующий в металле барий понижает межфазное напряжение между зарождающимся включением и жидким металлом и тем самым уменьшает критический радиус зародыша и пересыщение по компонентам металла. В результате получится большое количество мелких включений, которые несущественно влияют на механические свойства стали.

На основании вышеизложенного можно сделать следующее заключение.

Раскисление стали с применением комплексного сплава Ca–Ba позволяет значительно снизить содержание неметаллических включений, модифицировать остаточные неметаллические включения в благоприятные комплексы с их равномерным распределением в объеме стали, значительно повысить ее механические свойства.

В силу малой растворимости в жидком металле и высокой поверхностной активности барий не может быть эффективным раскислителем стали. Высокая поверхностная активность бария позволяет рассматривать его как достаточно эффективный модификатор. Использование бария в лигатурах приводит к измельчению неметаллических включений, гомогенизации жидкого металла, понижению температуры ликвидус, измельчению первичного зерна литой стали, увеличению технологической пластичности.

#### Список литературы

1. Жучков В.И. Разработка рациональных составов ферросплавов для обработки стали и чугуна / В.И. Жучков, М.И. Гасик, О.Ю. Шешуков // Теория и практика металлургических процессов при производстве отливок из чёрных сплавов: Сб. докладов Литейного консилиума № 2 - Челябинск: Челябинский Дом печати, 2007. – С. 88.
2. Жучков В.И. Растворение ферросплавов в жидком металле / В.И. Жучков, А.С. Носков, А.Л. Завьялов. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1990. – 134 с.
3. Жучков В.И. Основные принципы определения оптимального состава // Совершенствование технологии марганцевых сплавов: Материалы III Респ. науч.-техн. совещания. – Тбилиси, 1983.– С. 109–114.
4. Толымбеков М.Ж. Прямое легирование стали марганцем. / М.Ж. Толымбеков, Т.Д. Такенов, А.Б. Ахметов. – Алматы: НИЦ «Фылым», 2003. – 304 с.

Получено 18.04.2018

---

ӘОЖ 621.781.

**М.Т. Төреканова, С.Д. Капаева**

Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ, Өскемен қаласы

#### АЗОТТЫҚ КЕҮЕКТІЛІК ЖӘНЕ ОНЫ АЗОТЫ БАР АТМОСФЕРАДА ДОҒАЛЫҚ БАЛҚЫТУ ШАРТТАРЫНДА ЕСКЕРУ

*Введение углекислого газа не менее 30% к азоту позволяет получать плотный наплавленный металл за счет лучшего поглощения им азота. Существенным фактором, снижающим образование пор от азота в наплавленном металле 10X17H8C5Г2Т, является содержание ферротитана в шихте порошковой проволоки ПП-АН 133. Содержание титана в наплавленном металле должно быть в пределах 0,2...0,4%.*

*Азотқа 30%-дан кем емес көмірқышықп ғазын енгізу азотты жақсы сіңіру арқасында тығызы балқытып қаптастыру металын алуға мүмкіндік береді. Балқытып қаптастыру металындағы 10X17H8C5Г2Т азоттан кеүектің пайда болуының азауының негізгі факторы ПП-АН 133 ұнтақты сымдағы шикізаттағы ферротитанның болуы. Балқытып қаптастыру металында титан құрамы 0,2...0,4% аралығында болуы керек.*

*Introduction of carbon dioxide is not less than 30% for nitrogen produces a tight weld metal due to better welding of the metal by the heat of the arc. The factor that reduces the formation of pores from nitrogen in the weld metal 10X17H8C5Г2Т is the presence of ferronitride in the flux-coated wire AN 133. The content of titanium in the weld metal should be within the range of 0,2...0,4%.*

*ter absorption of nitrogen. A significant factor that reduces the formation of pores by nitrogen in the weld metal 10H17N8S5G2T is ferrotitanium content in the charge of powder wire PP-AN 133. The titanium content in the weld metal should be in the range 0.2 ... 0.4%.*

Құбыржол арматурасы бекітпесінің тұрақты жұмысының басты шарттарының бірі тығыздығындағы күйсіз тығыз балқытылған металды алу болып табылады.

Беткі қабатқа кіретін құystар жабық бекітпе кезінде арматураның саңылаусызындағының бұзылуына себеп бола алады, сонымен қатар, есіресе орта жылдамдық ағымының жағдайында, эрозиялық бұзылу көзі болуы мүмкін. Құystар металдардың коррозиялық бұзылуына да ықпал етеді, өйткені кейбір агрессивті орталардың әсерінен олар мөлшерін ұлғайтады, бекітпенің саңылаусызындағын бұзады.

Беткі қабаттарда қажалатын және олардың уақытынан бұрын тозуын пайда болдыратын қажамалардың көздері болып табылатын әртүрлі типті абразивті бөлшектер құystарға ене алады. Құбыржол арматурасының қажалатын беткі қабаттарында 80 мм-ден кем шартты өтулер кезінде құystарға мүлдем жол берілмейді, ал 80 мм-ден жоғары өтулер кезінде құystардың шектеулі санына ғана жол беріледі [1]. Сондықтан құystардың пайда болуы мен балқыту металындағы құystарды алдын алу занылықтары бойынша азот және азоты бар газдық қоспаларда арматураның қажалатын беткі қабатының балқу технологиясын зерттеу мен құрастыру зерттеудің басты тапсырмасы болып табылады.

Балқымадан газдың бөлінуін, газ көпіршіктегінде және құystарының пайда болуын алдын алу немесе тежеудің тиімді тәсілі балқыған металда газдың ерігіштігін арттыру болып табылады. Бұл металдың аса қаныгуын азайтуға мүмкіндік береді, ягни дәнекерлеу ваннасындағы ерітілген азот мөлшері мен оның тепе-тендік концентрациясы арасындағы ең аз айырмашылыққа ие болу, осылайша сұйық металл ваннасында газдың пайда болуын азайту немесе мүлдем болдырмау керек.

В.В. Подгаецкий [2] азоттық қеуектілікті азайту үшін негізгі үш фактор керек екендігін айқындағы:

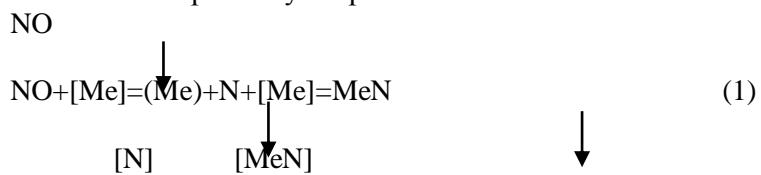
1. Сұйық электрод металында және металл ваннасында азотты ерітудің сұйық металдағы азоттың ерігіштігін төмен мәнге дейін шектеу.

2. Қатты металда азоттың ерігіштігін арттыру.

3. Жік металында азотты тұрақты нитридтерге байланыстыру.

Осы үш бағыт бірін-бірі толықтырып тұрады, әртүрлі балқыту материалдарын және балқыту технологиясын әзірлеуге, қолдануға ерекше көзқарасты қажет етеді.

Балқытылған металдардағы азоттың ерігіштігін жоғарылату дәнекерлеу ваннасындағы бетінде азот оксидінің болуымен қамтамасыз етіледі. Сонда азот оксидінің қатысуымен азот ерітіндісінің механизмі мына сызбамен ұсынылуы мүмкін:



Азот оксиді пісіру ванналарының бетінде сініріледі, содан кейін темір немесе басқа элементтермен қалпына келтіріледі. Қалпына келтірілген азот металда атомдар немесе нитрид түрінде еріп кетеді.

Сонымен бірге азот оксидінің болмауы азот ерітіндісіне әсер етеді. Бұл негізінен белсенді атомдық азоттың үлкен концентрациясы бар электродтың соңындағы дуга бағанында орын алады. Бұл дәнекерлеу тогының азаюымен және дуга кернеуінің жоғарылауымен, электродтың соңындағы балқытылған металл тамшыларының түріп кету уақытының ұл-

гаюымен, металдағы азоттың мөлшері арта түсетіндігімен дәлелденеді.

Азот оксидінің болуы электрод ұштарында температура аз болатын және белсенді атомдық азот болмайтын пісіру ваннасы бетінде металл арқылы азотты сіңруге мүмкіндік береді.

Көмірқышқыл газының және оның диссоциация өнімдері – көміртегі, азот тотығы бар болған кезде дөғалық балқыту шарттарында азотта келесі реакциялар болады:



Осылайша азот қоспасындағы көмірқышқыл газының болуы балқытылған металдың азотты жақсы сіңіруіне әсер етеді және бір уақытта дәнекерлеу ваннасының кристалдануы процесінде металл бетінде бөлінетін азот мөлшерін азайтады. Кез келген элементтің азот үшін жақындығы тиісті нитридті қалыптастырудың еркін энергиясы арқылы сипатталуы мүмкін. Термодинамикалық беріктігі және нитридті құрайтын элементтің белсенділігі негұрлым жоғары болса, онда нитрид фазасы қалыптасадын қысым төмен болады (1-кесте). Кестеден термодинамикалық берік болатын нитридтер Ti, Zr, Ce екендігі көрініп түр.

Азоттағы әртүрлі қоспалары бар балқымада легирленген элементтердің болуына байланысты азот белсенділігінің коэффициенті де өзгереді [2]. Легирленген элементтермен балқудағы азоттың белсенді коэффициенті  $f\text{N}(\text{Me}-j)$  келесі қатынаспен анықталады:

$$f\text{N}(\text{Me}-j) = [\text{N}]\text{Me}/[\text{N}]\text{Me}-j, \quad (6)$$

мұндағы  $[\text{N}]\text{Me}$  – балқу негізіндегі азот концентрациясы;  $[\text{N}]\text{Me}-j$  – реттейтін элементтері бар балқу негізіндегі азот концентрациясы.

$\text{PN}_2$  және  $\text{T}$  тұракты мәндері кезінде, егер легирлейтін элемент азоттың белсенділік коэффициентін арттыратын болса, онда ерігіштік азаяды және керісінше.

1-кесте

Нитридті қалыптастыру энталпиялары [3]

Элемент	Нитрид	$H^0$ , ккал/моль
Al	AlN	-76,5
Si	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	-44,0
Ti	TiN	-80,5
Zr	ZrN	-87,5
Nb	NbN	-42,0
Cr	Cr <sub>2</sub> N CrN	-58,6 -25,6
Mo	Mo <sub>2</sub> N	-28,2
Fe	Fe <sub>4</sub> N Fe <sub>2</sub> N	-16,6 -1,1
Co	Co <sub>3</sub> N	-2,7
Ni	Ni <sub>3</sub> N	+2,0
Ce	CeN	-78,0
W	W <sub>2</sub> N	17,0

Ti, Al, Zr, Nb, V нитрид туғызатын элементтердің енгізе отырып, азоттың арқасында кеуектілікті алдын алуға болады. Нитридтердің пайда болуы еркін жағдайда азоттың бөлінуіне кедергі жасайды. Нитрид туғызатын элементтер сүйық металда азотты тұракты нитридтерге байланыстырады, осылайша газды көпіршіктердің пайда болуына кедергі

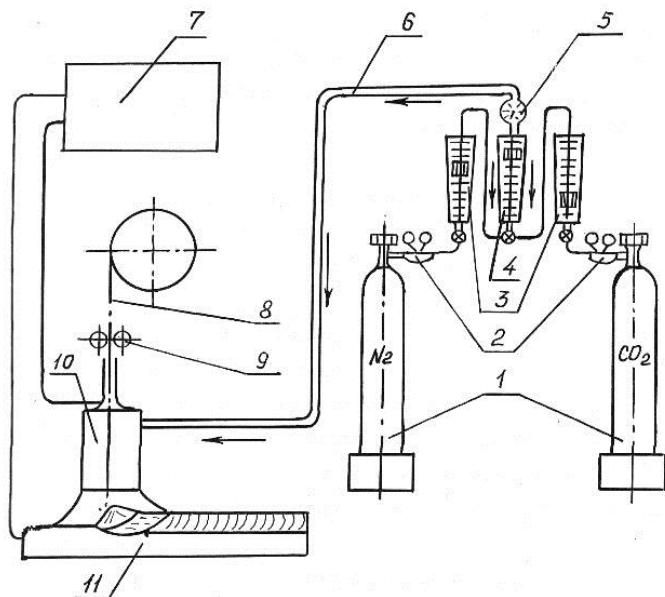
жасайды.

ПП-АН133 ұнтақ сымының зарядтардың құрамына кіретін, балқытылған металдағы тесіктердің қалыптасуын қоспайтын, сондай-ақ балқытылған сымның қанағаттанарлық қалыптасуын қамтамасыз ететін Ті оңтайлы мөлшерін анықтау үшін қоспаның құрамында ферротитанның әртүрлі мөлшерімен 10X17H8C5G2T ұнтақ сымдарының бірнеше үлгілері зерттелді.

Балқытууды 200x100x16 мм өлшеміндегі 20 болат пластинасынан CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub> қорғаныс атмосферасындағы бірден беске дейінгі қабаттарда жүргізді. Зерттеу үшін орнату схемасы 1-суретте көрсетілген. Қоспадағы азот құрамы 30, 50, 70%-ды құрады. Балқу режимі: пісіру тогы - 200 ... 220 A; доға кернеуі - 26 V; V<sub>H</sub>=20,5 м/сағ.

Көрғаныс атмосферасының құрамына және тұндыру режимдеріне, санылаулардың қалыптасуына байланысты балқыту металы бейімділігінің бағасы RT-1 пленкадағы ОСТ 5.9095-77 сәйкес РУП 150/300 рентген аппараттарымен алынған балқытылған үлгілердің 2 сезгіштік сыныбы бойынша және ОСТ 5.9537-80 сезгіштік сыныбына сәйкес түсті дефектоскопиямен орындалды.

Эксперименттердің нәтижелері (2-кесте, 3-сурет) титан құрамының қорғаныш атмосферасының құрамына қарай құыстарды қалыптастыру үшін балқытылған металл үрдісіне елеулі әсерін көрсететін анықтады.



1-сурет –Технологиялық зерттеулер үшін балқыту орнатпаларының сыйбасы:

- 1 – газды баллон;
- 2 – постық редукторлар;
- 3 – ротаметрлер PC-3;
- 4 – ротаметр PC – 3A;
- 5 – манометр;
- 6 – көрғаныс атмосфераны беретін шланг;
- 7 – пісіретін түзеткіш;
- 8 – балқыма сым;
- 9 – сымды беру механизмі;
- 10 – газоэлектрлік жанарғы;
- 11 – балқытылатын пластина

FeTi 0,5% құрамда болған кезде, құыстар бірінші қабатта пайда болады. Келесі қабаттарды балқыту құыстардың пайда болуына икемді болады. Қорғаныш қоспасында азоттың пайызы мөлшері артқан сайын, балқытылған металдағы құыстар саны да артады. Балқыма сымда ферротитанның болуына байланысты құыстардың аздаған саны таза азотта балқыған кезде алынды. Бұл көрғаныс атмосферасындағы жұмыстармен байланысты бо-

латын тотықтырғыштың болмауымен түсіндіріледі [4, 5].

2-кесте

*Корғаныс атмосферасының құрамына байланысты балқыған металдағы титан құрамы (үш қабатты балқыту)*

Корғаныс атмосферасы, %	Сымдағы ферротитан құрамы, %							
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Балқыған металдағы титан құрамы, %								
CO <sub>2</sub>	0,04	0,08	0,12	0,13	0,16	0,18	0,25	0,28
70CO <sub>2</sub> +30N <sub>2</sub>	0,04	0,09	0,13	0,13	0,17	0,20	0,26	0,29
50N <sub>2</sub> +50CO <sub>2</sub>	0,05	0,10	0,13	0,14	0,18	0,20	0,26	0,30
30CO <sub>2</sub> +70N <sub>2</sub>	0,05	0,10	0,14	0,15	0,18	0,21	0,26	0,31
N <sub>2</sub>	0,06	0,11	0,14	0,16	0,19	0,21	0,27	0,31

Ұнтақтық сымның шихтасында ферротитан құрамының артуы есебінен балқытылған металдағы титанның мөлшері артады. Осы кезде көп қабатты балқытуларда қыстардың пайда болуы азаяды.

Екінші жағынан, қорғаныш атмосферасы ретінде азотқа көміртек диоксидінің қосылуы көміртек тотығын қалыптастыру арқылы жоғарғы температура аймагындағы дәнекерлеу ваннасының қайнауын арттырады.



Осы кезде пайда болған көмір қышқылы дәнекерлеу ваннасынан жойылады және сұйық металдан аса қаныққан азоттың беткі қабатқа шығуына әсер етеді.

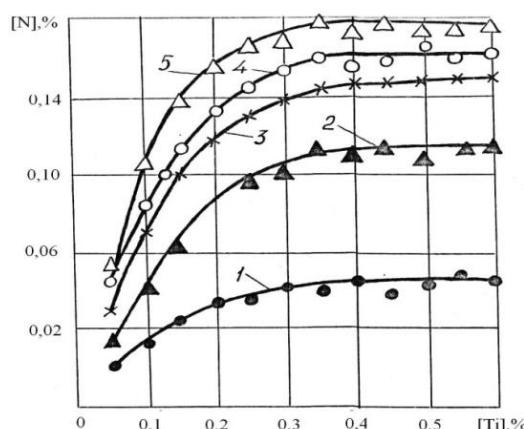
Айта кету керек, қыстар негізінен балқытылған білік соңында пайда болады. Бұл құбылысты беткі қабаттардың азот арқылы аса қанығуы түрінде дәнекерлеу ваннасында «көпіршікті қайнаудың» болуымен түсіндіруге болады. Алайда ПП-АН133 ұнтақтық сымның шихтасында ферротитан құрамының артуы кезінде балқыған металдың тығыздығы артады (2-сурет).

Ферротитаның 3,5...4,0% мөлшерінде 28 В-тан асатын кернеу кезінде зерттелген қорғаныш атмосферасында бес қабатты төсемде де қыстардың болмайтыны тіркелген.

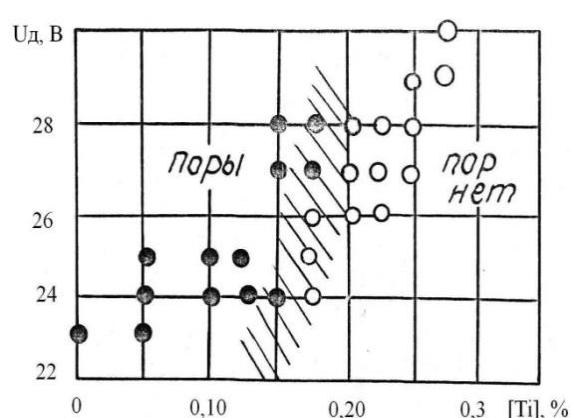
Қуатты нитрид туғызуши ретінде титан балқытылған металда азоттың ерігіштігін көбейте отырып, пісіру ваннасының кристалдану процесі кезінде азоттың пайда болуын азайтады. Титан сұйық металдарда да «көпіршікті қайнау» басталуына дейінгі уақыт аралығын көбейтеді. Осы кезде пісіру ваннасының кристалдануы қайнау басталғанға дейін іске асып үлгереді.

Дога кернеуі артқан сайын, балқытылған металдың қыстының пайда болуына икемділігі арта түседі (3 сурет), себебі металда азоттың ерігіштігі артады. Сондықтан балқытууды балқыту білігінің пайда болуын қамтамасыз етегін доганың минималды мүмкін болатын кернеуі кезінде іске асыру керек.

Балқытылған металдағы титаның 0,4%-дан көп мөлшері балқыған металда азоттың ерігіштігіне әсер етпейтінін ескере кету керек, бірақ бұл кезде сымның технологиялық қасиеттері төмендейді, дуга аздап жанады, қалдықтардың пайда болуы жоғарылайды және қалдық қабығының алынуы кынданатыла түседі.



2-сурет – Балқытылған металдағы азоттың ерүіне титанның әсері (ПП-АН133, 3 қабатты балқыма): 1 – CO<sub>2</sub>; 2 – 30% N<sub>2</sub>+70%CO<sub>2</sub>; 3 – 50% N<sub>2</sub>+50%CO<sub>2</sub>; 4 - 70% N<sub>2</sub>+30%CO<sub>2</sub>; 5 – 100% N<sub>2</sub>



УДК 53.043

**А. Тұрлыбекұлы, С.В. Плотников, Б.Х. Шаймарданова, Н.К. Ердыбаева,  
Л.В. Шушкевич, Р.Н. Кимосов**

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

**К. Акатаев, Е. Шаймардан, Н. Кантай**

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

### СИНТЕЗИРОВАНИЕ МИКРОДИСПЕРСНОГО ГИДРОКСИАПАТИТА КАЛЬЦИЯ

В статье рассмотрен способ получения гидроксиапатита. Синтезированный порошок имеет отличные свойства по сравнению с методом получения, описанным в [8]. Проведены исследования методами сканирующей микроскопии, рентгенодифракционного анализа, ИК-спектроскопии. Сопоставление данных всех проведенных методов анализа показало, что синтезированный данным методом ГАП будет иметь положительные результаты биосовместимости. Полученный результат свидетельствует о необходимости доработки режимов и условий синтезирования ГАП, в частности уменьшение соотношения Ca/P, понижение уровня pH.

Мақалада гидроксиапатит алу өдісі қарастырылады. Синтезделген ұнтақ [8]-да сипатталған дайындау өдісімен салыстырғанда айырықша қасиетке ие. Зерттеулер сканерден өткізу микроскопиясын, рентгендік дифракционды талдауды және ИК-спектроскопияны қолдану арқылы жүргізілді. Жүргізілген барлық талдау өдістерінің деректерін салыстыруы көрсеткендей, осы өдіспен синтезделген ГАП био-үйлесімділіктің оң нәтижелеріне ие болады. Алынған нәтиже ГАП синтездеу режимдері мен жағдайларын тазарту қажеттігін көрсетеді, атап айтқанда pH деңгейін төмendetу үшін Ca/P қатынасын азайту.

The article considers a method for obtaining hydroxyapatite. The synthesized powder has excellent properties compared to the preparation method described in [8]. Studies were carried out using scanning microscopy, X-ray diffraction analysis, and IR spectroscopy. A comparison of the data of all the analysis methods carried out showed that the GAP synthesized by this method will have positive biocompatibility results. The obtained result indicates the need to refine the regimes and conditions for synthesizing HAP, in particular, to decrease the Ca/P ratio, to lower the pH level.

Керамические биоматериалы на основе кальций фосфата считаются наиболее перспективным материалом для целей ортопедической имплантологии, поскольку имеют наибольшую близость к человеческой кости по химическому составу. Биоматериалы на основе кальций фосфата прошли многочисленные исследования на предмет биосовместимости.

Гидроксиапатит (ГАП,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) обладает отличной биосовместимостью, биоразлагаемостью, остеокондуктивными и биоактивными свойствами благодаря своему химически близкому составу с неорганическим компонентом природных минералов кости [1, 2]. ГАП может быть получен химическим синтезом, таким как золь-гель-метод, гидротермический метод, сонохимический синтез, совместное осаждение и механохимический метод или экстракцией из природных источников, таких как кораллы, морские раковины, кости животных и яичная скорлупа [1-4]. Доступность по всему миру, неограниченное предложение, низкая стоимость, простота, недорогое, экономичное и эффективное производство - это преимущества получения ГАП из природных биологических источников [1, 4].

Необходимо отметить, что в медицине синтетический ГАП и материалы на его основе используются как в виде керамик и композитов, замещающих часть утраченной кости, так и в качестве покрытий имплантатов, способствующих связи с гидроксиапатитом

костной ткани [5, 6].

Современные биоматериалы, предназначенные для применения в ортопедии и стоматологии, условно разделяются на следующие основные группы:

- биоактивная керамика: биоактивное стекло, биоактивная стеклокерамика, керамика из гидроксиапатита, биоактивные композиты (трикальцийфосфат, гидроксиапатит и др.);
- металлы и их сплавы: медь, нержавеющая сталь, титан, сплавы титана;
- композиты металлов с керамикой: никель-титановые, кобальт-хром-молибденовые, титан с керамическим покрытием, титан с керамическим и кальций фосфатным покрытием и др.;
- биополимерные материалы: полиметилметакрилат, хитозан, силикон и др.;
- наполнители: стекло в виде пудры, микро- и макрогели, частицы титана со стеклокерамикой и др. [7].

Стехиометрическим соотношением Ca/P для ГАП является 1,67-1,86. ГАП с меньшим соотношением Ca/P называется кальцийдефицитным ГАП, который имеет отличные химикобиологические свойства [8-10].

Целью данной работы является синтезирование микродисперсного ГАП методом перемешивания оксида кальция с двузамещенным фосфатом аммония и дистиллированной водой.

Методом синтезирования выбран [11], так как он удовлетворяет по размеру конечных частиц и стехиометрическому составу, а также доступности исходных материалов синтеза. Процесс получения ГАП был условно разделен на два этапа. Первое – прокаливание оксида кальция, охлаждение, взвешивание. Второе - перемешивание оксида кальция с двузамещенным фосфатом аммония и дистиллированной водой, высушивание и прокаливание полученного продукта. Массовое соотношение  $\text{CaO}/(\text{NH}_4)_2\text{HPo}_4/\text{H}_2\text{O} = 1,0/(1,18-1,345)/(5-7)$ . Прокаливание осуществлялось при 950-970 °C 1 час. Продукт промывался дистиллированной водой при уровне pH 10.

Для идентификации синтезированного порошка были проведены исследования его элементного состава и дисперсности с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) JSM-6390LV с энергодисперсионным элементным анализом INCA Energy Penta FET X3. Для определения функциональных групп использовался ИК фурье спектрометр FTIR-801 Simex, область измерения 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  с разрешением 1  $\text{cm}^{-1}$ . Фазовый состав был исследован на рентгеновском дифрактометре PANalytical X'PertPRO Cu K $\alpha$  с длиной волны 1,54056 Å.

При синтезировании ГАП вышеописанным методом был получен однородный белый порошок. Исследование на СЭМ показало, что гранулы порошка состоят из агломерированных частиц размером 3-5 мкм (рис. 1). Для установления химического состава был проведен энергодисперсионный (ЭДС) анализ определенных частиц (рис. 1, *спектр 1-3*). Результат ЭДС анализа представлен в табл. 1, из которой видно, что установлено количественное соотношение Ca/P, близкое к стехиометрическому - 1,86. Избыточное содержание кальция ведет к меньшей растворимости ГАП в воде, что является недостатком [11]. Полученный результат свидетельствует о необходимости доработки режимов и условий синтезирования ГАП.

Методом рентгеноструктурного анализа определен фазовый состав ГАП (рис. 2). Кроме основной фазы  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ , в синтезированном порошке присутствует  $\beta$ -фаза трикальцийфосфата  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , массовая доля которого, согласно данным количественного анализа, составляет 37,5%. Наличие трикальцийфосфата не объясняет повышенное содержание кальция.

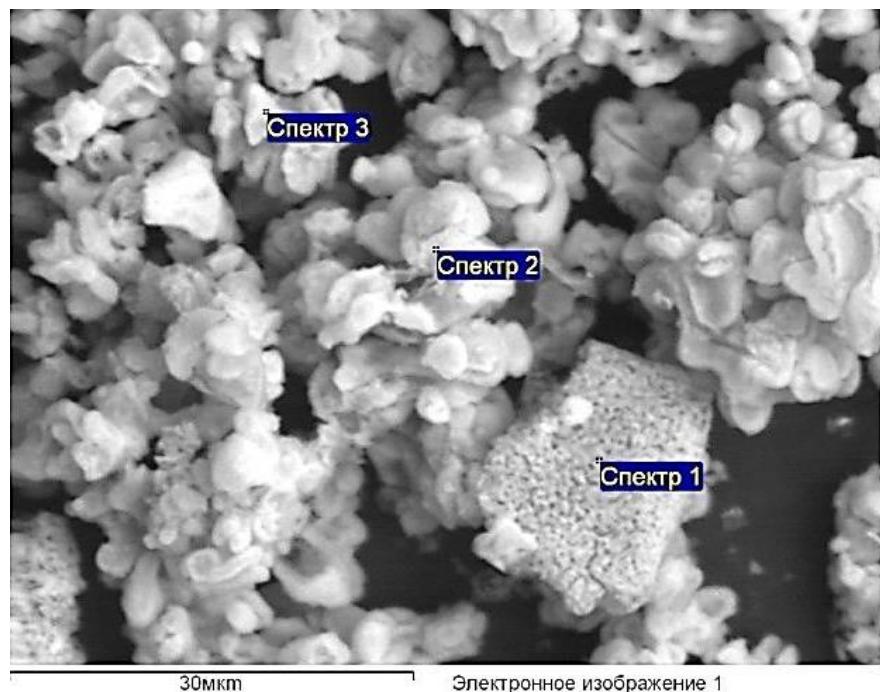


Рисунок 1 – СЭМ-изображение синтезированного порошка

Таблица 1  
Элементный состав порошка в % по результатам ЭДС анализа

Спектр	O	Na	P	Ca	Ca/P
Спектр 1	45,56	1,01	19,03	34,4	1,80
Спектр 2	49,12	0,55	17,61	32,72	1,85
Спектр 3	56,92	0,36	14,77	27,95	1,89
Среднее	50,53	0,64	17,14	31,69	1,84

Для определения качественного состава синтезированного порошка также использовался метод ИК фурье спектроскопии (рис. 3). Из литературных источников [12-14] были установлены основные моды колебаний, характерные для ГАП. Установлено, что основные колебательные моды синтезированного нами материала (линии высокой интенсивности  $564\text{-}630\text{ см}^{-1}$ ,  $962\text{-}1086,2\text{ см}^{-1}$ ) соответствуют кристаллическому ГАП (табл. 2). Обнаруженные линии средней интенсивности  $962,67$  и  $979,85\text{ см}^{-1}$  относятся к колебаниям растяжения функциональной группы  $-(\text{PO}_4)^{3-}$ .

Примечательно, что порошок, синтезированный данным способом, не содержит функциональных групп  $\text{CO}_3$ , а также линий исходного компонента  $\text{CaO}$ . Отсутствие дополнительных мод колебаний говорит об однофазности синтезированного ГАП. Основываясь на полученных результатах, можно предположить, что синтезированный данным методом ГАП будет иметь положительные результаты биосовместимости.

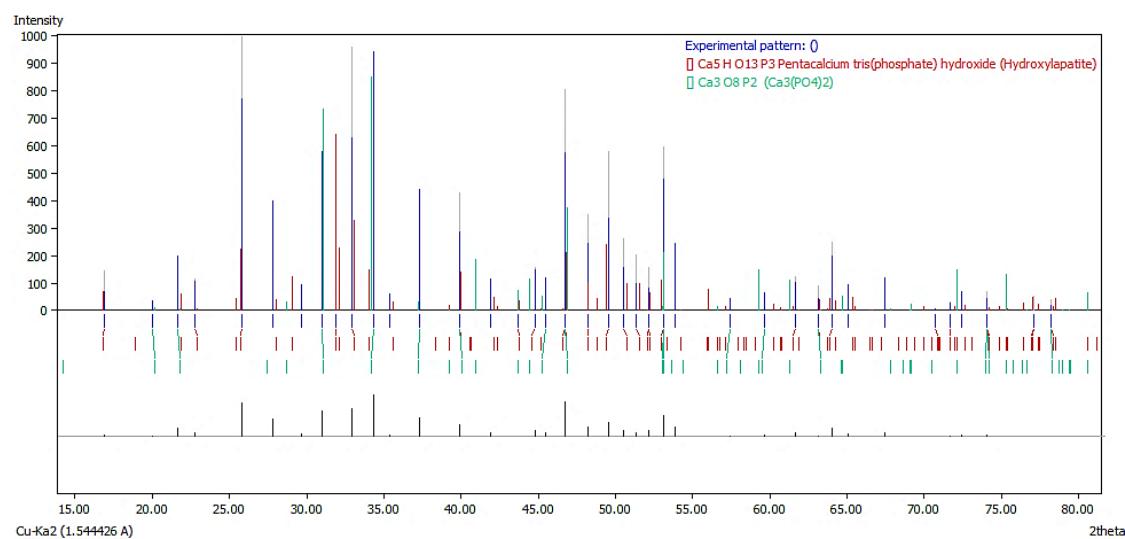


Рисунок 2 – Рентгенограмма синтезированного ГАП

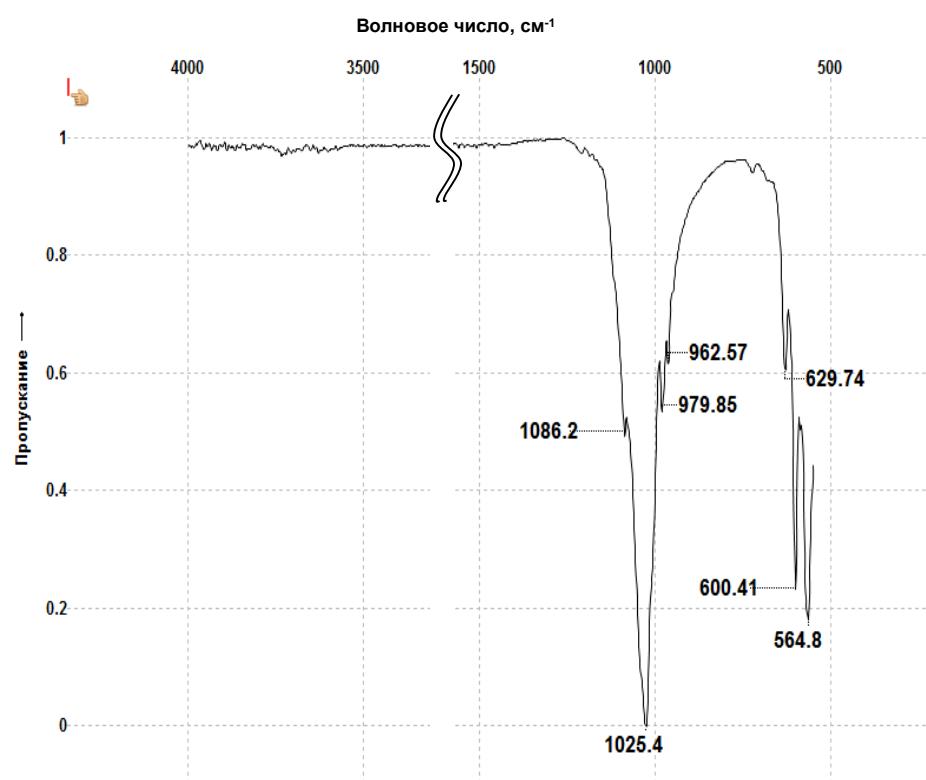


Рисунок 3 – ИК-спектр синтезированного ГАП

Таблица 2  
Характеристические линии ГАП и экспериментальные данные

Функциональные группы	Литературные данные ГАП, см <sup>-1</sup>	Экспериментальные данные ГАП, см <sup>-1</sup>
-(PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> , ν4	564	564,8
	601	600,41
-(PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> , ν1	962	962,67
	977	979,85
-(PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> , ν3	1029	1025,4
	1090	1086,2
ОН структурная	630	629,74
	3567	Очень слабые возмущения

На основании вышеизложенного можно сделать следующее заключение.

Исследовательской группой апробирован способ получения ГАП. При синтезировании ГАП вышеописанным методом был получен однородный белый порошок. Установлено, что гранулы порошка состоят из агломерированных частиц размером 3-5 мкм. Количественное соотношение Ca/P близко к стехиометрическому - 1,86. Содержание ГАП - 62,5%, синтезированный ГАП не содержит веществ, ухудшающих биосовместимость материала.

Сопоставление данных всех проведенных методов анализа показало, что синтезированный данным методом ГАП будет иметь положительные результаты биосовместимости. Полученный результат свидетельствует о необходимости доработки режимов и условий синтезирования ГАП, в частности уменьшение соотношения Ca/P, понижение уровня pH.

#### Список литературы

1. Yanovska, V. Kuznetsov, A. Stanislavov, S. Danilchenko, L. Sukhodub Silver-doped hydroxyapatite coatings formed on Ti-6Al-4V substrates and their characterization// Materials Science and Engineering C 36 (2014) 215–220
2. Yanovska, V. Kuznetsov, A. Stanislavov, S. Danilchenko, L. Sukhodub Calcium–phosphate coatings obtained biomimetically on magnesium substrates under low magnetic field// Applied Surface Science 258 (2012) 8577– 8584
3. Robyn Plowright, David J. Belton, David L. Kaplan, Carole C. Perry Quantifying the efficiency of Hydroxyapatite Mineralising Peptides// SCientific RePorts | 7: 7681 | DOI:10.1038/s41598-017-07247-z
4. N. A. El-Wassefy, F. M. Reicha, N. S. Aref Electro-chemical deposition of nano hydroxyapatite-zinc coating on titanium metal substrate// El-Wassefy et al. International Journal of Implant Dentistry (2017) 3:39 DOI 10.1186/s40729-017-0095-1
5. D. Demir, S. Ceylan, F. Öfkeli, D. Şen, N. B. Karagüllü Eggshell derived nanohydroxyapatite reinforced chitosan cryogel biocomposites for tissue engineering applications// Demir et al., JOTCSB. 2017; 1(sp. is. 1): 77-88.
6. P. Mel'nikova, A. V. Lyasnikova, and V. N. Lyasnikov Physical bases of formation of nanostructured biocompatible coatings on medical implants// Russian Physics Journal, Vol. 56, No. 10, February, 2014 (Russian Original No. 10, October, 2013)
7. Голощапов Д.Л. Получение нанокристаллического гидроксиапатита методом химического осаждения с использованием биогенного источника кальция / Д.Л. Голощапов, В.М. Кашкаров, Н.А. Румянцева и др. // Конденсированные среды и межфазные границы. – Т. 13. - № 4. - С. 427-441.
8. Корчагин А.В. Повышение качества и оптимизация технологии плазменного напыления биопокрытий из титана и гидроксиапатита на имплантаты // Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. – СГТУ: Саратов, 1999. - С. 7.
9. Аль-зубайди А.А.М. Исследование физико-химических свойств металлзамещенного нанокри-

- сталлического кальцийдефицитного гидроксиапатита // Дисс. на соискание уч. степени канд. ф.-мат. наук. – ВГУ: Воронеж, 2014.
10. Голощапов Д.Л. Получение нанокристаллического гидроксиапатита методом химического осаждения с использованием биогенного источника кальция / Д.Л. Голощапов, В.М. Кашкаров, Н.А. Румянцева и др. // Конденсированные среды и межфазные границы. – Т. 13. - № 4. - С. 427-441.
11. А. с. пат. (21) 5013838/26 (22) 26.11.91 (46) 15.08.93.30 (76). В.П. Орловский, Г.В. Родичева, Ж.А. Ежова, Г.Е. Суханова, Е.М. Коваль, Н.М. Романова (СССР).
12. Prabakaran K., Balamurugan A., Rajeswari S.// Bulletin of Materials Science. 2005 V. 28(2). P. 115—119.
13. Anunziata O. A., Maria L., Beltramone M. R., et al. // J. Materials. 2009. V. 2. P. 1508—1519.
14. Gibson I. R., Bonfield W. John Wiley & Sons, Inc. 2001. P. 697—707.

Получено 18.04.2018

по страницам



## ЧТЕНИЕ — ВОТ ЛУЧШЕЕ УЧЕНИЕ

Эти слова Пушкина в наше время нуждаются в уточнении: чтение с бумаги. Исследование, проведённое Анной Манген из университета Ставангера (Норвегия), показало, что учебный материал, поданный на бумажной странице, усваивается лучше, чем тот же текст в формате PDF на экране компьютера или электронной книги. Возможно, потому, что в книге легче вернуться к месту, которое вы хотите перечитать, чем снова найти его на экране. Помогает и зрительная, и двигательная память, возникшая при переворачивании страниц. И вообще, сложный материал, который нужно понять и усвоить, лучше читать с бумажной страницы. Но то же самое относится и к чтению как развлечению. Эксперименты Анны Манген показали, что те, кто читал детективный рассказ с экрана электронной книги, запомнили сюжет хуже, чем читавшие его в обычной бумажной книжке. Мало того, по некоторым данным, читатель лучше вживается в характеры персонажей и больше сопереживает им, если книга обычная.

«Наука и жизнь» № 2, 2018



МРНТИ 25.00.00:34.35.01:27.23.15

**Б.Н. Мынбаева, Ж.О. Оралбекова, Д.Н. Исабаева, Ш.Ө. Мұхтарова**

Казахский национальный педагогический университет им. Абая, г. Алматы

**Т.К. Жукабаева, З.Т. Хасенова**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА  
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г. АЛМАТА**

*В исследованиях использованы в качестве базовых данных результаты химического мониторинга загрязнения воздуха г. Алматы тяжелыми металлами, показавшие превышение ПДК Pb до 1,8 ПДК. Целью данных исследований явилось: составление прогнозной модели загрязнения атмосферного воздуха г. Алматы тяжелыми металлами при помощи математических методов корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализов. Составление прогнозной модели оказалось трудной задачей, так как выявлена слабая математическая достоверность данных по загрязнению воздуха; из чего следуют рекомендации по дальнейшему развитию разработок моделей комплексного предупреждения и контроля загрязнения тяжелыми металлами воздуха г. Алматы.*

*Зерттеуде базалық деректер негізінде Pb ШРК 1,8 ШРК дейін жоғарлауын көрсеткен Алматы қ. ауыр металлдармен ауаны ластануының химиялық мониторинг нәтижелері қолданылған. Зерттеудің мақсаты: корреляциялы-регрессиялық және дисперсиялық талдаудың математикалық әдістер көмегімен Алматы қ. ауыр металлдармен ауаны ластануына болжамдық моделді құру. Ауаның ластануы бойынша деректердің әлсіз математикалық дәлдігіри анықталғандықтан, болжамдық моделді құру күрделі міндет болды, сәйкесінше Алматы қ. ауыр металлдармен ауаны ластануының кешендері алдын алу және бақылау моделдерін әзірлеуін одан әрі дамыту бойынша ұсынымдар жасалды.*

*The results of chemical monitoring of air pollution in Almaty by heavy metals, which showed an excess of Pb MPC to 1.8, were used in the research studies as basic data. The purpose of this research was to make a forecast model of atmospheric air pollution by heavy metals in Almaty city through the using of the mathematical methods of correlation-regression and dispersion analysis. The compilation of the forecast model turned out to be a difficult task, since the weak mathematical reliability of the data on air pollution was revealed; which is followed by recommendations for the further development of models for the integrated prevention and control of heavy metals in Almaty city's air pollution.*

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, воздух, математические методы анализа, прогнозная модель.

Общеизвестно, что тяжелые металлы (ТМ) в воздухе городов приводят к многочисленным проблемам медико-экологического и санитарно-гигиенического характера. Последствия их присутствия достаточно опасны. Атмосферный воздух г. Алматы, как и других городов [1-3], содержит определенное количество ТМ. Малая эффективность существующей системы мониторинга загрязнения г. Алматы связана с тем, что она состоит исключительно в сборе химико-аналитических данных.

Цель данных исследований: составление прогнозной модели загрязнения атмосферного воздуха г. Алматы тяжелыми металлами при помощи математических методов корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа.

Объектом исследований служил воздух, отбиравшийся в определенных пунктах сети мониторинга г. Алматы с проведением совместных анализов на базе филиала «Казгидромет». Отбор проб воздуха и их анализ на содержание ТМ проводили на 2 постах наблюдения за загрязнением воздуха (ПНЗ) г. Алматы: ПНЗ № 1 – ул. Амангельды/пр. Абая (Бостандыкский район); ПНЗ № 12 – пр. Раимбека/ул. Наурызбай батыра (Жетысуский район).

Метод определения содержания ТМ в атмосферном воздухе.

Через фильтр «АВХ» пропускали 18 м<sup>3</sup> воздуха, затем фильтр сжигали методом «мокрого озоления» в 4 мл HNO<sub>3</sub> (конц., ОХЧ) и выпаривали до влажных солей, приливали 0,3 мл H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (конц.) и отстаивали 0,5 ч. Затем выпаривали досуха; к сухому остатку приливали 0,2 мл HNO<sub>3</sub>, доводили дистиллированной водой до объема 25 мл и измеряли содержание тяжелых металлов на спектрометре фирмы «Shimatzu» [4].

Полученные данные обрабатывали в программе Microsoft Excel и математическими методами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализов с помощью программ «TotalComander 6.53-Sam» и «Mathcad» для составления прогнозных моделей загрязнения воздушного бассейна г. Алматы ТМ. Выбранные сроки наблюдений: 2006-2009 гг. В эти годы наблюдалось наибольшее загрязнение воздуха ТМ согласно предварительным данным.

Ранее нами были получены результаты химического анализа: содержание Cd в атмосферном воздухе г. Алматы не превышало ПДК, которое равно 0,0003 мг/м<sup>3</sup> [5] по всем годам отбора проб воздуха. В 2006 и 2007 гг. было показано увеличение содержания Pb зимой по сравнению с весенне-летними концентрациями: на ПНЗ № 1 – 1 ПДК, на ПНЗ 12 – 1,8 ПДК. Отмечено большее загрязнение воздуха Pb в нижней части города, чем в верхней. Более значительное загрязнение Cu отмечено в нижней части города без превышения ПДК, равное 0,002 мг/м<sup>3</sup> [5], на двух ПНЗ в течение всего анализируемого периода времени. Для достижения поставленной цели после анализа данных, описанных выше, мы выбрали 2 ТМ: Pb и Cu, поскольку абсолютные концентрации Cd были минимальны.

На основании проведенных расчетов с помощью программ «TotalComander 6.53-Sam» и «Mathcad» отмечена линейная связь между содержанием Cu и Pb в воздухе г. Алматы в 2006 г. в воздухе верхней части города (ПНЗ № 1).

Эта связь имела следующее эмпирическое уравнение:

$$Y = -5,231 + 2834 \cdot X - 0,015 \cdot X^2. \quad (1)$$

Величина коэффициента корреляции  $r=0,601$  свидетельствовала о желательности увеличения числа измерений. Высокая сопряженность между Cu и Pb была лучше выражена в данных по ПНЗ № 12 с эмпирическим уравнением регрессии:

$$Y = 3,404 + 0,005 \cdot X. \quad (2)$$

Полученный разброс данных наблюдений за содержанием Pb и Cu по ПНЗ 1 в корреляционном поле показал, что необходимо устранить случайные отклонения с помощью более тщательных анализов осенне-зимнего периода.

В 2007 г. по ПНЗ № 1 было получено эмпирическое уравнение линейной регрессии:

$$Y = 0,001 + 468,754 \cdot X; \quad (3)$$

по ПНЗ № 12 эмпирическое уравнение регрессии:

$$Y = 57,767 \text{EXP}(0,002 \cdot X). \quad (4)$$

Эти данные можно считать достаточно точными по коэффициентам корреляции, близким к 1, в течение всего года отбора и анализа проб воздуха г. Алматы.

Слабые функциональные связи Pb от Cu в воздухе отмечены в 2008 г., подтвержденные эмпирическим уравнением регрессии:

$$Y = 29,039 + 13,257 \cdot X + 3,829 \cdot X^2 \quad (5)$$

и другими статистическими коэффициентами корреляции.

По ПНЗ № 12 в автоматическом режиме машиной выбрана 1 функция:

$$Y = 46,09 + 7,900001E-02 \cdot X. \quad (6)$$

В 2008 г. установлена наиболее низкая степень сопряженности концентраций Pb и Cu в воздухе г. Алматы. В 2009 г. полученное уравнение регрессии:

$$Y=0,001 \cdot X / 4345465 + X \quad (7)$$

по данным ПНЗ № 1 оказалось некорректным из-за 6 измерений содержания Cu, равных весьма малым величинам  $0,0001 \text{ мкг}/\text{м}^3$ , поэтому мы проанализировали корреляционно-регрессионный анализ только по ПНЗ № 12.

Полученные статистические данные по ПНЗ № 12 показали обратную линейную регрессию:

$$Y=79,454-0,024 \cdot X. \quad (8)$$

Поскольку полученные данные корреляционно-регрессионного анализа загрязнения воздуха г. Алматы не позволили нам сделать определенные выводы по загрязнению воздуха Cu и Pb, мы решили провести дисперсионный анализ, который показал, что большинство корреляционно-регрессионных зависимостей связано не с изменением содержания Pb и Cu в воздухе, а с другими факторами, как мы предполагаем, метеорологическими. При полученных значениях коэффициентов Стьюдента и Фишера доверительная зона измерений явилась небольшой, использование экспериментальных точек в целом не позволило создать прогнозную модель загрязнения воздуха г. Алматы.

Таким образом, нами показана малая математическая достоверность данных по загрязнению воздуха г. Алматы Pb и Cu в течение 2006-2009 гг. Полученные отклонения от теоретической линии регрессии Y по X не позволили нам создать обоснованную прогнозную модель по загрязнению воздуха г. Алматы. Следует продолжить исследования с добавлением точечных измерений в пространстве и времени или с добавлением временных рядов таких измерений, как координаты постов наблюдений и площадь территории, где будет делаться прогноз. Для дальнейших расчетов задачи усвоения данных нужны трехмерные поля метеоэлементов за весь моделируемый период, например скорость ветра, коэффициент диффузии, температура и давление. Новые исследования позволяют сделать рекомендации по улучшению системы мониторинга атмосферного воздуха и составлению прогнозных моделей их экологической опасности.

Данные исследования выполняются при поддержке грантового финансирования МОН РК 2018-2020 гг. по приоритету «Рациональное использование природных, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции» и теме «Разработка новой информационной системы и базы данных для оптимизации мониторинга загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами» (договор № 132 от 12 марта 2018 г.).

#### Список литературы:

1. Михайлута С.В. Уровень загрязнения приземной атмосферы Красноярска (холодный период) / С.В. Михайлута, О.В. Тасейко // ЭКиП: Экология и промышленность России. – 2003. – № 10. – С. 4-8.
2. Селегей Т.С. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха городов Сибири // География и природные ресурсы. – 1994. – № 1. – С. 44-48.
3. Экологические и метеорологические проблемы больших городов и промышленных зон. – СПб.: РГГМУ, 1999. – 179 с.
4. М 02-09-99. Методика выполнения измерения массовой концентрации металлов в атмосферном воздухе атомно-адсорбционным методом с электротермической атомизацией. – СПб.: Изд-во стандартов, 1999. – 13 с.
5. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы № 629: Санитарно-эпидемиологические требования к атмосферному воздуху: утв. 18.08.2004. – Алматы: Изд-во стандартов, 2004. – 155 с.

Получено 18.04.2018



МРНТИ 27.41.00; 27.41.19

**А.Н. Темирбеков., Б.А. Урмашев**

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ УРАВНЕНИЙ  
ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ**

*В работе построены конечно-разностные схемы для трехмерных уравнений пограничного слоя атмосферы. Доказана разрешимость математической модели и изучены качественные свойства решений. Для решения разностных уравнений получены априорные оценки. Исследованы аппроксимационные свойства и доказана теорема сходимости решения разностной задачи к решению дифференциальной задачи. Разработан пакет прикладных программ для численного моделирования загрязнения атмосферного воздуха с учетом фотохимических превращений и визуализации соответствующих сценариев.*

*Бұл жұмыста үшөлшемді атмосфера қабатының тендеулері үшін айрымдық схемалар құрылған. Математикалық модельдің шешімділігі және шешімінің сапалық қасиеті зерттелді. Айрымдық тендеулерді шешу үшін априорлы бағалар алынды. Айрымдық есептің дифференциалдық есепке жинақталу теоремасы дәлелденді және аппроксимациялық қасиеттері зерттелді. Зиянды заттардың фотохимиялық трансформацияларын ескеріп, атмосфера ауасының ластануын сандық модельдеу үшін және сәйкес сценарийлерді визуализациялау үшін қолданбалы бағдарламалар пакеті құрылды.*

*In this paper, finite-difference schemes for three-dimensional equations of the atmospheric boundary layer are constructed. The solvability of the mathematical model is proved, and qualitative properties of the solutions are studied. A priori estimates are obtained for the solution of difference equations. Basic a priori estimates for the solution of the difference problem are obtained. Approximation properties are studied and the theorem of convergence of the solution of the difference problem to the solution of the differential problem is proved. A software package for numerical simulation of air pollution taking into account photochemical transformations and visualization of corresponding scenarios is developed*

Математические модели вычислительной гидродинамики служат базой для исследования разнообразных природных явлений, технологических процессов и экологических проблем. В связи с этим актуальными становятся разработка и исследование эффективных и устойчивых численных алгоритмов решения системы уравнений пограничного слоя атмосферы и их практическая реализация. Для численного решения разностных уравнений существуют различные методы, разрабатываются новые, непрерывно ведется работа по их усовершенствованию, проводится переоценка методов. Основные методы решения сеточных уравнений систематизированы и подробно изложены в работе [1]. При решении уравнений Навье–Стокса использование явных схем неэффективно в силу жестких ограничений на соотношение временных и пространственных шагов расчетной сетки, особенно при нахождении стационарного решения методом установления, поэтому наиболее часто используются неявные разностные схемы, безусловно устойчивые или имеющие более слабые ограничения на устойчивость. Обзор наиболее употребительных численных алгоритмов приведен, например, в работах [2-8].

В работе [9] предложен новый симметричный метод аппроксимации нестационарных уравнений Навье–Стокса системой уравнений типа Коши–Ковалевской. Исследуются свойства модифицированной задачи. Доказана сходимость на бесконечном промежутке времени при  $\epsilon \rightarrow 0$  решения модифицированной задачи к решению исходной. В работе

[10] доказана сходимость решений конечно-разностной схемы, аппроксимирующей примитивные уравнения со вторым порядком по пространственным переменным, к решению дифференциальной задачи при естественном предположении гладкости решения исходной задачи. В работе [11] проводится исследование разностных схем по времени, порядок точности которых может быть произвольно высоким. Представлены разностные схемы по времени для решения уравнения Навье-Стокса. Исследуется влияние порядка схемы на точность вычислений. В работах [12-14] предложены численные алгоритмы для решения уравнений Навье-Стокса методом конечных элементов. Проведен анализ устойчивости и сходимости предлагаемых методов. В работе [15] построены устойчивые и сходящиеся разностные схемы для уравнений пограничного слоя атмосферы, переноса и трансформации примесей вредных веществ.

Для численного моделирования загрязнения атмосферного воздуха с учетом фотохимических превращений и визуализаций соответствующих сценариев разработан пакет прикладных программ. В статье рассматривается задача распространения примесей от точечных источников с учетом фотохимической трансформации.

Приведены результаты численного моделирования распространения и трансформаций вредных примесей на фоне мезометеорологических процессов на примере города Усть-Каменогорска.

Рассмотрим трехмерные уравнения пограничного слоя атмосферы в области  $\Omega = \{0 < x_i < l_i, i = 1, 2, 3\}$  с границей  $S$ :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x_1} + v \frac{\partial u}{\partial x_2} + \omega \frac{\partial u}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_1} = \frac{1}{De} v + \frac{1}{Re_T} \left( \frac{\partial}{\partial x_1} \left( a_{x_1} \frac{\partial u}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left( a_{x_2} \frac{\partial u}{\partial x_2} \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left( a_{x_3} \frac{\partial u}{\partial x_3} \right) \right) + f_1(\bar{x}, t) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x_1} + v \frac{\partial v}{\partial x_2} + \omega \frac{\partial v}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_2} = -\frac{1}{De} u + \frac{1}{Re_T} \left( \frac{\partial}{\partial x_1} \left( a_{x_1} \frac{\partial v}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left( a_{x_2} \frac{\partial v}{\partial x_2} \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left( a_{x_3} \frac{\partial v}{\partial x_3} \right) \right) + f_2(\bar{x}, t) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x_1} + v \frac{\partial \omega}{\partial x_2} + \omega \frac{\partial \omega}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_3} = \bar{\lambda} + \frac{1}{Re_T} \left( \frac{\partial}{\partial x_1} \left( a_{x_1} \frac{\partial \omega}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left( a_{x_2} \frac{\partial \omega}{\partial x_2} \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left( a_{x_3} \frac{\partial \omega}{\partial x_3} \right) \right) + f_3(\bar{x}, t) \quad (3)$$

$$div \vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

Здесь  $t$  - время;  $x_1, x_2, x_3$  - декартовы координаты;  $\vec{V}$  - вектор скорости ветра с компонентами  $u, v, \omega$ ;  $p$  - давление;  $De$  - безразмерная характеристика отклонения ветра от геострофического;  $Re_T$  - безразмерное число турбулентного обмена;  $\bar{\lambda}$  - безразмерный параметр конвекции;  $a_{x_1}, a_{x_2}$  - горизонтальные коэффициенты атмосферной турбулентности для количества движения;  $a_{x_3}$  - вертикальный коэффициент атмосферного турбулентного обмена для количества движения.

Системе уравнений (1)-(4) поставим следующие начально-граничные условия:

$$\vec{V}(x, 0) = \vec{V}^0(x), \quad x \in \Omega; \quad \vec{V}(x, t) = 0, \quad x \in S. \quad (5)$$

В области  $\Omega$  функция  $\vec{V}^0(x)$  задана следующим образом:  $div \vec{V}^0(x) = 0$ .

Для численного решения уравнений пограничного слоя атмосферы (1) -(4) используем сетку с разнесенными скоростями.

В области  $\Omega$  построим сетки  $\Omega_h, \Omega_h = \Omega_x \cup \Omega_y \cup \Omega_z$ , где

$$\begin{aligned} \Omega_h &= \{(x_{1i}, x_{2j}, x_{3k}) | x_{1i} = ih_1, x_{2j} = jh_2, x_{3k} = kh_3, \\ &i = 0, 1, \dots, N_1; j = 0, 1, \dots, N_2; k = 0, 1, \dots, N_3, h_1 = I_1/N_1, h_2 = I_2/N_2, h_3 = I_3/N_3\} \\ \Omega_x &= \{(x_{1i+1/2}, x_{2j}, x_{3k}) | x_{1i+1/2} = (i+1/2)h_1, x_{2j} = jh_2, x_{3k} = kh_3, \\ &i = 0, 1, \dots, N_1 - 1; j = 0, 1, \dots, N_2; k = 0, 1, \dots, N_3, h_1 = I_1/N_1, h_2 = I_2/N_2, h_3 = I_3/N_3\} \\ \Omega_y &= \{(x_{1i}, x_{2j+1/2}, x_{3k}) | x_{1i} = ih_1, x_{2j+1/2} = (j+1/2)h_2, x_{3k} = kh_3, \\ &i = 0, 1, \dots, N_1; j = 0, 1, \dots, N_2 - 1; k = 0, 1, \dots, N_3, h_1 = I_1/N_1, h_2 = I_2/N_2, h_3 = I_3/N_3\} \\ \Omega_z &= \{(x_{1i}, x_{2j}, x_{3k+1/2}) | x_{1i} = ih_1, x_{2j} = jh_2, x_{3k+1/2} = (k+1/2)h_3, \\ &i = 0, 1, \dots, N_1; j = 0, 1, \dots, N_2; k = 0, 1, \dots, N_3 - 1, h_1 = I_1/N_1, h_2 = I_2/N_2, h_3 = I_3/N_3\}. \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом строится следующая разностная схема:

$$\begin{aligned} \frac{u_{i+1/2,j,k}^{n+1} - u_{i+1/2,j,k}^n}{\tau} + L_{1h}^{(1)} u_{i+1/2,j,k}^n + P_{x_1,i,j,k}^{n+1} &= \frac{1}{De} v_{i,j+1/2,k}^n + \\ + \frac{1}{Re_T} [(a_{i,j,k} u_{x_1,i+1/2,j,k}^n)_{\bar{x}_1} &+ (a_{i+1/2,j+1/2,k} u_{x_2,i+1/2,j,k}^n)_{\bar{x}_2} + (a_{i+1/2,j,k+1/2} u_{x_3,i+1/2,j,k}^n)_{\bar{x}_3}] + f_{i+1/2,j,k}^0, \\ i = 1, N_1 - 2, j = 1, N_2 - 1, k = 1, N_3 - 1 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{v_{i,j+1/2,k}^{n+1} - v_{i,j+1/2,k}^n}{\tau} + L_{1h}^{(2)} v_{i,j+1/2,k}^n + P_{x_2,i,j,k}^{n+1} &= -\frac{1}{De} u_{i+1/2,j,k}^n + \\ + \frac{1}{Re_T} [(a_{i+1/2,j+1/2,k} v_{x_1,i+1/2,j+1/2,k}^n)_{\bar{x}_1} &+ (a_{i,j+1,k} v_{x_2,i,j,k}^n)_{\bar{x}_2} + (a_{i,j+1/2,k+1/2} v_{x_3,i,j+1/2,k}^n)_{\bar{x}_3}] + f_{i,j+1/2,k}^0, \\ i = 1, N_1 - 2, j = 1, N_2 - 1, k = 1, N_3 - 1 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\omega_{i,j,k+1/2}^{n+1} - \omega_{i,j,k+1/2}^n}{\tau} + L_{1h}^{(3)} \omega_{i,j,k+1/2}^n + P_{x_3,i,j,k}^{n+1} &= \bar{\lambda} + \\ + \frac{1}{Re_T} [(a_{i+1/2,j,k+1/2} \omega_{x_1,i+1/2,j,k+1/2}^n)_{\bar{x}_1} &+ (a_{i,j+1/2,k} \omega_{x_2,i,j+1/2,k}^n)_{\bar{x}_2} + (a_{i,j,k+1} \omega_{x_3,i,j,k}^n)_{\bar{x}_3}] + f_{i,j,k+1/2}^0, \\ i = 1, N_1 - 2, j = 1, N_2 - 1, k = 1, N_3 - 1 \end{aligned} \quad (9)$$

Уравнение неразрывности в разностном виде записывается так:

$$div_h \vec{V}^{n+1} = u_{\bar{x}_1,i+1/2,j,k}^{n+1} + v_{\bar{x}_2,i,j+1/2,k}^{n+1} + \omega_{\bar{x}_3,i,j,k+1/2}^{n+1} = 0. \quad (10)$$

Выполняются следующие начально-границные условия:

$$\begin{aligned} u_{i+1/2,j,k}^0 &= V^0(x_{1i} + 0.5h_1, x_{2j}, x_{3k}), v_{i,j+1/2,k}^0 = V^0(x_{1i}, x_{2j+1/2}, x_{3k} + 0.5h_3), \\ u_{0,j+1/2,k}^{n+1} &= u_{N_1,j+1/2,k}^{n+1} = u_{i+1/2,j,k}^{n+1} = u_{N_1-1/2,j,k}^{n+1} = \omega_{0,j,k+1/2}^{n+1} = \omega_{N_1,j,k+1/2}^{n+1} = 0, j = \overline{0, N_2 - 1}, k = \overline{0, N_3 - 1} \\ u_{i,j+1/2,k}^{n+1} &= u_{N_1,j-1/2,k}^{n+1} = u_{i+1/2,0,k}^{n+1} = u_{i+1/2,N_2,k}^{n+1} = \omega_{i,0,k+1/2}^{n+1} = \omega_{i,N_2,k+1/2}^{n+1} = 0, i = \overline{0, N_1 - 1}, k = \overline{0, N_3 - 1} \\ u_{i,j+1/2,0}^{n+1} &= u_{i,j+1/2,N_3}^{n+1} = u_{i+1/2,j,0}^{n+1} = u_{i+1/2,j,N_3}^{n+1} = \omega_{i,j,0}^{n+1} = \omega_{i,j,N_3-1/2}^{n+1} = 0, i = \overline{0, N_1 - 1}, j = \overline{0, N_2 - 1} \end{aligned} \quad (11)$$

Лемма. Для любых сеточных функций  $u_{i+1/2,j,k} \in \Omega_x, v_{i,j+1/2,k} \in \Omega_y, \omega_{i,j,k+1/2} \in \Omega_z$ , удовлетворяющих условиям (10), (11), справедливы тождества

$$(L_{1h}^{(1)} u_{i+1/2,j,k}, u_{i+1/2,j,k}) = (L_{1h}^{(2)} v_{i,j+1/2,k}, v_{i,j+1/2,k}) = (L_{1h}^{(3)} \omega_{i,j,k+1/2}, \omega_{i,j,k+1/2}) = 0, \quad (12)$$

где суммирование производится по внутренним узлам сетки  $\Omega_x \cup \Omega_y \cup \Omega_z$ .

Определим норму вектора скорости следующим образом:

$$\|\vec{V}^n\|^2 = \sum_{\Omega_x} (u_{i+1/2,j,k}^n)^2 h_1 h_2 h_3 + \sum_{\Omega_y} (v_{i,j+1/2,k}^n)^2 h_1 h_2 h_3 + \sum_{\Omega_z} (\omega_{i,j,k+1/2}^n)^2 h_1 h_2 h_3. \quad (13)$$

Умножая разностные уравнения (1)-(3) соответственно на  $2\tau u_{i+1/2,j,k}^{n+1} h_1 h_2 h_3$ ,  $2\tau v_{i,j+1/2,k}^{n+1} h_1 h_2 h_3$  и  $2\tau \omega_{i,j,k+1/2}^{n+1} h_1 h_2 h_3$ , затем просуммировав по точкам  $\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z$ , получим следующее основное

энергетическое неравенство:

$$\begin{aligned} & \|V^{n+1}\|^2 - \|V^n\|^2 + \|V^{n+1} - V^n\|^2 + 2\tau(L_h V^n, V^{n+1}) + \\ & + 2\tau \left( \sum_{\Omega_x} p_{x_1}^{n+1} u_{i+\frac{1}{2}, j, k}^{n+1} + \sum_{\Omega_y} p_{x_2}^{n+1} u_{i, j+\frac{1}{2}, k}^{n+1} + \sum_{\Omega_z} p_{x_3}^{n+1} u_{i, j, k+\frac{1}{2}}^{n+1} \right) h_1 h_2 h_3 + 2\tau d_h \leq \frac{2\tau}{De} |S_h| + 2\tau |\vec{f}^h, V^{n+1}|. \end{aligned} \quad (14)$$

Оценим величины, входящие в соотношение (14). Учитывая условия (11), можно убедиться в том, что

$$\begin{aligned} d_h = & \frac{\tau}{Re_T} \left[ \sum_{\Omega_x} (a_{i,j,k} u_{x_1,i+1/2,j,k}^n u_{x_1,i+1/2,j,k}^{n+1} + a_{i+1/2,j+1/2,k} u_{x_2,i+1/2,j,k}^n u_{x_2,i+1/2,j,k}^{n+1} + \right. \\ & + a_{i+1/2,j,k+1/2} u_{x_3,i+1/2,j,k}^n u_{x_3,i+1/2,j,k}^{n+1}) h_1 h_2 h_3 + \sum_{\Omega_y} (a_{i+1/2,j+1/2,k} u_{x_1,i+1/2,j,k}^n u_{x_1,i+1/2,j,k}^{n+1} + a_{i,j+1/2,k} u_{x_2,i,j,k}^n u_{x_2,i,j,k}^{n+1} + \\ & + a_{i,j+1/2,k+1/2} u_{x_3,i,j+1/2,k+1/2}^n u_{x_3,i,j+1/2,k+1/2}^{n+1}) h_1 h_2 h_3 + \sum_{\Omega_z} (a_{i+1/2,j,k+1/2} \omega_{x_1,i+1/2,j,k+1/2}^n \omega_{x_1,i+1/2,j,k+1/2}^{n+1} + a_{i,j+1/2,k} \omega_{x_2,i,j+1/2,k}^n \omega_{x_2,i,j+1/2,k}^{n+1} + \\ & \left. + a_{i,j,k+1} \omega_{x_3,i,j,k}^n \omega_{x_3,i,j,k}^{n+1}) h_1 h_2 h_3 \right] \end{aligned} \quad (15)$$

Используя неравенство Юнга и ограниченность коэффициента  $a(x_i, x_j, x_k)$  снизу, имеем

$$|d_h| \geq C_1 \left( \|\nabla_h \vec{V}^n\|^2 + \|\nabla_h \vec{V}^{n+1}\|^2 - \|\nabla_h (\vec{V}^{n+1} - \vec{V}^n)\|^2 \right), \quad (16)$$

где

$$\begin{aligned} \|\nabla \vec{V}\|^2 &= \|\vec{V}_x\|^2 + \|\vec{V}_y\|^2 + \|\vec{V}_z\|^2, \\ C_1 &= 0.5a\tau/Re_T. \end{aligned} \quad (17)$$

Слагаемое  $S_h$  преобразуем следующим образом:

$$\begin{aligned} S_h &= \sum_{\Omega_x} v_{i+\frac{1}{2}, j, k}^n u_{i+\frac{1}{2}, j, k}^{n+1} h_1 h_2 h_3 - \sum_{\Omega_y} u_{i, j+\frac{1}{2}, k}^n v_{i, j+\frac{1}{2}, k}^{n+1} h_1 h_2 h_3 = \\ &= \sum_{\Omega_x} v_{i+\frac{1}{2}, j, k}^n (u_{i+\frac{1}{2}, j, k}^{n+1} - u_{i+\frac{1}{2}, j, k}^n) h_1 h_2 h_3 - \sum_{\Omega_y} u_{i, j+\frac{1}{2}, k}^n (v_{i, j+\frac{1}{2}, k}^{n+1} - v_{i, j+\frac{1}{2}, k}^n) h_1 h_2 h_3. \end{aligned} \quad (18)$$

Далее, используя неравенство Юнга, имеем

$$\begin{aligned} |S_h| \leq & \left( \sum_{\Omega_y} (v_{i, j+\frac{1}{2}, k}^n)^2 h_1 h_2 h_3 + \sum_{\Omega_x} (u_{i+\frac{1}{2}, j, k}^n)^2 h_1 h_2 h_3 \right) + \\ & + \left( \sum_{\Omega_x} (u_{i+\frac{1}{2}, j, k}^{n+1} - u_{i+\frac{1}{2}, j, k}^n)^2 h_1 h_2 h_3 + \sum_{\Omega_y} (v_{i, j+\frac{1}{2}, k}^{n+1} - v_{i, j+\frac{1}{2}, k}^n)^2 h_1 h_2 h_3 \right). \end{aligned} \quad (19)$$

Добавим в правую часть неравенства неотрицательные слагаемые

$$\sum_{\Omega_z} (\omega_{i, j, k+\frac{1}{2}}^n)^2 h_1 h_2 h_3 + \sum_{\Omega_z} (\omega_{i, j, k+\frac{1}{2}}^{n+1} - \omega_{i, j, k+\frac{1}{2}}^n)^2 h_1 h_2 h_3 \quad (20)$$

и получим

$$|S_h| \leq \|\vec{V}^n\|^2 + \|\vec{V}^{n+1} - \vec{V}^n\|^2. \quad (21)$$

В силу доказанной выше леммы имеем

$$2\tau(L_h \vec{V}^n, \vec{V}^{n+1}) = 2\tau^2(L_h \vec{V}^n, \vec{V}_t^n). \quad (22)$$

Используем неравенство Коши-Буняковского:

$$\begin{aligned} |2\tau^2(L_{th}\bar{V}^n, \bar{V}_t^n)| &\leq C_2\tau^2 \left\{ \sum_{\Omega_h} [(u_{i+1/2,j,k}^n)^2 + (\nu_{i,j+1/2,k}^n)^2 + (\omega_{i,j,k+1/2}^n)^2] h_1 h_2 h_3 \right\}^{1/2} \cdot \|\bar{V}_t^n\| = \\ &= C_2\tau^2 \|\bar{V}^n\|^2 \cdot \|\bar{V}_t^n\|. \end{aligned} \quad (23)$$

Величина  $\|\bar{V}^n\|^2$  оценивается так [16]:

$$\|\bar{V}^n\|^2 \leq \left(\frac{4}{3}\right)^{\frac{3}{4}} \|\bar{V}^n\|^{1/2} \|\nabla_h \bar{V}^n\|^{3/2}. \quad (24)$$

Тогда

$$|2\tau^2(L_{th}\bar{V}^n, \bar{V}_t^n)| \leq C_2(4/3)^{3/4} \tau^2 \|\bar{V}^n\|^{1/2} \|\nabla_h \bar{V}^n\|^{3/2} \|\bar{V}_t^n\| \leq \|\bar{V}_t^n\|^2 + C_3 \|\bar{V}^n\| \|\nabla_h \bar{V}^n\|^3, \quad (25)$$

где  $C_3 = \frac{2^{\frac{5}{2}} C_2 \tau^2}{3^{3/4}}$ .

$$\begin{aligned} \|\bar{V}^{n+1}\|^2 - \|\bar{V}^n\|^2 + \frac{1}{2} \|\bar{V}^{n+1} - \bar{V}^n\|^2 + C_1 \left( \|\nabla_h \bar{V}^n\|^2 + \|\nabla_h \bar{V}^{n+1}\|^2 - \|\nabla_h (\bar{V}^{n+1} - \bar{V}^n)\|^2 \right) - C_3 \|\bar{V}_t^n\|^2 - \\ - C_3 \|\bar{V}^n\| \|\nabla_h \bar{V}^n\|^3 \leq \frac{2\tau}{De} \left( \|\bar{V}^n\|^2 + \|\bar{V}^{n+1} - \bar{V}^n\|^2 \right) + 2\tau |\bar{f}^n, \bar{V}^{n+1}|. \end{aligned} \quad (26)$$

Отсюда имеем

$$\|\bar{V}^{n+1}\|^2 + C_1 \sum_{k=0}^n \|\nabla_h \bar{V}^{n+1}\|^2 \leq \|V^0\|^2 + 2\tau \left( \sum_{k=0}^n \|\bar{f}^k\| \right) \left( \|\bar{V}^0\| + 2\tau \sum_{k=0}^n \|\bar{f}^k\| \right) \leq 2\|\bar{V}^0\|^2 + 5 \left( \tau \sum_{k=0}^n \|\bar{f}^k\| \right)^2. \quad (27)$$

Для исследования сходимости решения конечно-разностной задачи к решению дифференциальной задачи рассмотрим конечно-разностные соотношения для уравнений пограничного слоя атмосферы:

$$\begin{aligned} u_{t,h,i+1/2,j,k}^n + L_{th}^{(1)} u_{x_1,h,i+1/2,j,k}^n + P_{x_1,h,i,j,k}^{n+1} = \frac{1}{De} u_{h,i,j+1/2,k}^n + \\ + \frac{1}{Re_T} [(a_{i,j,k} u_{x_1,h,i+1/2,j,k}^n)_{\bar{x}_1} + (a_{i+1/2,j+1/2,k} u_{x_2,h,i+1/2,j,k}^n)_{\bar{x}_2} + (a_{i+1/2,j,k+1/2} u_{x_3,h,i+1/2,k}^n)_{\bar{x}_3}] + f_{i+1/2,j,k}^0, \end{aligned} \quad (28)$$

$i = \overline{1, N_1 - 2}, j = \overline{1, N_2 - 1}, k = \overline{1, N_3 - 1}$

$$\begin{aligned} v_{t,h,i,j+1/2,k}^n + L_{th}^{(2)} v_{x_1,h,i+1/2,j,k}^n + P_{x_2,h,i,j,k}^{n+1} = -\frac{1}{De} u_{h,i+1/2,j,k}^n + \\ + \frac{1}{Re_T} [(a_{i+1/2,j+1/2,k} v_{x_1,h,i+1/2,j,k}^n)_{\bar{x}_1} + (a_{i,j+1,k} v_{x_2,h,i,j,k}^n)_{\bar{x}_2} + (a_{i,j+1/2,k+1/2} v_{x_3,h,i,j+1/2,k}^n)_{\bar{x}_3}] + f_{i,j+1/2,k}^0, \end{aligned} \quad (29)$$

$i = \overline{1, N_1 - 2}, j = \overline{1, N_2 - 1}, k = \overline{1, N_3 - 1}$

$$\begin{aligned} \omega_{t,h,i,j,k+1/2}^n + L_{th}^{(3)} \omega_{h,i,j,k+1/2}^n + P_{x_3,h,i,j,k}^{n+1} = \bar{\lambda} + \\ + \frac{1}{Re_T} [(a_{i+1/2,j,k+1/2} \omega_{x_1,h,i+1/2,j,k}^n)_{\bar{x}_1} + (a_{i,j+1/2,k} \omega_{x_2,h,i,j,k}^n)_{\bar{x}_2} + (a_{i,j,k+1} \omega_{x_3,h,i,j,k}^n)_{\bar{x}_3}] + f_{i,j,k+1/2}^0, \end{aligned} \quad (30)$$

$i = \overline{1, N_1 - 2}, j = \overline{1, N_2 - 1}, k = \overline{1, N_3 - 1}$

$$u_{\bar{x}_1,h,i+1/2,j,k}^{n+1} + v_{\bar{x}_2,h,i,j+1/2,k}^{n+1} + \omega_{\bar{x}_3,h,i,j,k+1/2}^{n+1} = 0 \quad (31)$$

со следующими начально-граничными условиями:

$$u_{i+1/2,j,k}^0 = V^0(x_{1i} + 0.5h_1, x_{2j}, x_{3k}), v_{i,j+1/2,k}^0 = V^0(x_{1j}, x_{2,j+0.5h_2}, x_{3k}), \omega_{i,j,k+1/2}^0 = V^0(x_{1j}, x_{2,j}, x_{3k} + 0.5h_3),$$

$$u_{0,i+1/2,k}^{n+1} = u_{N_1,j+1/2,k}^{n+1} = u_{1/2,j,k}^{n+1} = u_{N_1-1/2,j,k}^{n+1} = \omega_{0,j,k+1/2}^{n+1} = \omega_{N_1,j,k+1/2}^{n+1} = 0, j = \overline{0, N_2 - 1}, k = \overline{0, N_3 - 1},$$

$$v_{i,1/2,k}^{n+1} = v_{N_1,j-1/2,k}^{n+1} = u_{i+1/2,0,k}^{n+1} = u_{i+1/2,N_2,k}^{n+1} = \omega_{i,0,k+1/2}^{n+1} = \omega_{i,N_2,k+1/2}^{n+1} = 0, i = \overline{0, N_1 - 1}, k = \overline{0, N_3 - 1}, \quad (32)$$

$$u_{i,j+1/2,0}^{n+1} = u_{i,j+1/2,N_3}^{n+1} = u_{i+1/2,j,0}^{n+1} = u_{i+1/2,j,N_3}^{n+1} = \omega_{i,j,1/2}^{n+1} = \omega_{i,j,N_3-1/2}^{n+1} = 0, i = \overline{0, N_1 - 1}, j = \overline{0, N_2 - 1}.$$

Погрешность решений дифференциальной задачи (1)-(5) и разностной схемы (28)-(32) определим следующим образом:

$$\begin{aligned}\phi_{i+1/2,j,k}^{(1)n} &= u_{h,i+1/2,j,k}^n - u_{i+1/2,j,k}^n \\ \phi_{i,j+1/2,k}^{(2)n} &= v_{h,i,j+1/2,k}^n - v_{i,j+1/2,k}^n \\ \phi_{i,j,k+1/2}^{(3)n} &= \omega_{h,i,j,k+1/2}^n - \omega_{i,j,k+1/2}^n \\ \pi_{i,j,k}^{n+1} &= p_{h,i,j,k}^{n+1} - p_{i,j,k}^{n+1}.\end{aligned}\quad (33)$$

Определив из (33)  $u_{h,i+1/2,j,k}^n, v_{h,i,j+1/2,k}^n, \omega_{h,i,j,k+1/2}^n, p_{h,i,j,k}^{n+1}$  через  $\phi_{i+1/2,j,k}^{(1)n}, \phi_{i,j+1/2,k}^{(2)n}, \phi_{i,j,k+1/2}^{(3)n}, \pi_{i,j,k}^{n+1}$  и подставив в (28)-(31), получим

$$\begin{aligned}\phi_t^{(1)n} + L_{th}^{(1)}\phi_{i+1/2,j,k}^{(1)n} + \pi_{i,j,k}^n &= \frac{1}{De}\phi_{i+1/2,j,k}^{(2)n} + \\ &+ \frac{1}{Re_T}\left[\left(a_{i,j,k}\phi_{x_1,i+1/2,j,k}^{(1)}\right)_{\bar{x}_1} + \left(a_{i+1/2,j+1/2,k}\phi_{x_2,i+1/2,j,k}^{(1)}\right)_{\bar{x}_2} + \left(a_{i+1/2,j,k+1/2}\phi_{x_3,i+1/2,j,k}^{(1)}\right)_{\bar{x}_3}\right] + A_{i+1/2,j,k}^{(1)} + \psi_{i+1/2,j,k}^{(1)},\end{aligned}\quad (34)$$

$$\begin{aligned}\phi_t^{(2)n} + L_{th}^{(2)}\phi_{i,j+1/2,k}^{(2)n} + \pi_{i,j,k}^n &= -\frac{1}{De}\phi_{i,j+1/2,k}^{(1)n} + \\ &+ \frac{1}{Re_T}\left[\left(a_{i+1/2,j+1/2,k}\phi_{x_1,i+1/2,j+1/2,k}^{(2)}\right)_{\bar{x}_1} + \left(a_{i,j+1,k}\phi_{x_2,i,j+1/2,k}^{(2)}\right)_{\bar{x}_2} + \left(a_{i,j+1/2,k+1/2}\phi_{x_3,i,j+1/2,k+1/2}^{(2)}\right)_{\bar{x}_3}\right] + A_{i,j+1/2,k}^{(2)} + \psi_{i,j+1/2,k}^{(2)},\end{aligned}\quad (35)$$

$$\begin{aligned}\phi_t^{(3)n} + L_{th}^{(3)}\phi_{i,j,k+1/2}^{(3)n} + \pi_{i,j,k}^n &= \bar{\lambda} + \\ &+ \frac{1}{Re_T}\left[\left(a_{i+1/2,j,k+1/2}\phi_{x_1,i+1/2,j,k+1/2}^{(3)}\right)_{\bar{x}_1} + \left(a_{i,j+1/2,k}\phi_{x_2,i,j+1/2,k}^{(3)}\right)_{\bar{x}_2} + \left(a_{i,j,k+1}\phi_{x_3,i,j,k}^{(3)}\right)_{\bar{x}_3}\right] + A_{i,j,k+1/2}^{(3)} + \psi_{i,j,k+1/2}^{(3)},\end{aligned}\quad (36)$$

$$\phi_{x_1,i+1/2,j,k}^{(1)(n+1)} + \phi_{x_2,i,j+1/2,k}^{(2)(n+1)} + \phi_{x_3,i,j,k+1/2}^{(3)(n+1)} = 0,\quad (37)$$

где погрешность аппроксимации разностной схемы (28)-(32) на точном решении дифференциальной задачи (1)-(5) определяется как

$$\begin{aligned}\psi_{i+1/2,j,k}^{(1)} &= \frac{1}{De}u_{i,j+1/2,k}^n + \frac{1}{Re_T}\left[\left(a_{i,j,k}u_{x_1,i+1/2,j,k}^n\right)_{\bar{x}_1} + \left(a_{i+1/2,j+1/2,k}u_{x_2,i+1/2,j,k}^n\right)_{\bar{x}_2} + \left(a_{i+1/2,j,k+1/2}u_{x_3,i+1/2,j,k}^n\right)_{\bar{x}_3}\right] - u_{t,j+1/2,j,k}^n - L_{th}^{(1)}u^n - P_{x_1,j,k}^n, \\ \psi_{i,j+1/2,k}^{(2)} &= -\frac{1}{De}u_{i-1/2,j,k}^n - \frac{1}{Re_T}\left[\left(a_{i-1/2,j+1/2,k}u_{x_1,i+1/2,j+1/2,k}^n\right)_{\bar{x}_1} + \left(a_{i,j+1,k}u_{x_2,i,j+1/2,k}^n\right)_{\bar{x}_2} + \left(a_{i,j+1/2,k+1/2}u_{x_3,i,j+1/2,k+1/2}^n\right)_{\bar{x}_3}\right] - u_{t,j+1/2,k}^n - L_{th}^{(2)}u^n - P_{x_2,j,k}^n, \\ \psi_{i,j,k+1/2}^{(3)} &= \bar{\lambda} + \frac{1}{Re_T}\left[\left(a_{i+1/2,j,k+1/2}\omega_{x_1,i+1/2,j,k+1/2}^n\right)_{\bar{x}_1} + \left(a_{i,j+1/2,k}\omega_{x_2,i,j+1/2,k}^n\right)_{\bar{x}_2} + \left(a_{i,j,k+1}\omega_{x_3,i,j,k}^n\right)_{\bar{x}_3}\right] - \omega_{t,j,k+1/2}^n - L_{th}^{(3)}\omega^n - P_{x_3,j,k}^n\end{aligned}\quad (38)$$

и имеет второй порядок по  $h$  и первый порядок по  $\tau$  [17].

Начально-граничные условия для задачи погрешности (34)-(37) определяются следующим образом:

$$\begin{aligned}\phi_{i+1/2,j,k}^{(1)0} &= 0, \phi_{i,j+1/2,k}^{(2)0} = 0, \phi_{i,j,k+1/2}^{(3)0} = 0, \\ \phi_{0,j+1/2,k}^{(2)n+1} &= \phi_{N_1,j+1/2,k}^{(2)n+1} = \phi_{i,j,k}^{(1)n+1} = \phi_{N_1-1/2,j,k}^{(1)n+1} = \phi_{0,k+1/2}^{(3)n+1} = \phi_{N_1,j+1/2}^{(3)n+1} = 0, j = \overline{0, N_2 - 1}, k = \overline{0, N_3 - 1}, \\ \phi_{i,j,k+1/2}^{(2)n+1} &= \phi_{N_1,j-1/2,k}^{(2)n+1} = \phi_{i+1/2,0,k}^{(1)n+1} = \phi_{i+1/2,N_2,k}^{(1)n+1} = \phi_{i,0,k+1/2}^{(3)n+1} = \phi_{i,N_2,k+1/2}^{(3)n+1} = 0, i = \overline{0, N_1 - 1}, k = \overline{0, N_3 - 1}, \\ \phi_{i,j+1/2,0}^{(2)n+1} &= \phi_{i,j-1/2,N_3}^{(2)n+1} = \phi_{i+1/2,j,0}^{(1)n+1} = \phi_{i+1/2,j,N_3}^{(1)n+1} = \phi_{i,j,N_3-1/2}^{(3)n+1} = \phi_{i,j,N_3-1/2}^{(3)n+1} = 0, i = \overline{0, N_1 - 1}, j = \overline{0, N_2 - 1}.\end{aligned}\quad (39)$$

Умножая разностные уравнения (34)-(37) соответственно на  $2\tau\phi_{i+1/2,j,k}^{(1)(n+1)}h_1h_2h_3$ ,  $2\tau\phi_{i,j+1/2,k}^{(2)(n+1)}h_1h_2h_3$ ,  $2\tau\phi_{i,j,k+1/2}^{(3)(n+1)}h_1h_2h_3$ , затем просуммировав по сеточным областям  $\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z$ , получим

$$\begin{aligned}\|\vec{\phi}^{n+1}\|^2 - \left(1 + \frac{5\tau}{2}C_4 - \frac{2\tau}{De}\right)\|\vec{\phi}^n\|^2 + (1 - 2\tau C_4)\|\nabla_h \vec{\phi}^{n+1}\|^2 + \left(1 - \frac{24\tau C_1}{h^2} - \frac{2}{\tau} - \frac{2\tau}{De}\right)\|\vec{\phi}^{n+1} - \vec{\phi}^n\|^2 + \\ + 2\tau\left(C_1 - C_3\|\vec{\phi}^n\|\|\nabla_h \vec{\phi}^n\|\right)\|\nabla_h \vec{\phi}^n\|^2 \leq 2\tau\|\vec{\psi}^n\|\|\vec{\phi}^{n+1}\|.\end{aligned}\quad (40)$$

Обозначим  $a = 1$ ;  $b = 1 + \frac{5\tau}{2}C_4 - \frac{2\tau}{De}$  и (40) запишем так:

$$\begin{aligned} & a\|\vec{\phi}^{n+1}\|^2 - b\|\vec{\phi}^n\|^2 + \left(1 - \frac{24\tau C_1}{h^2} - \frac{2}{\tau} - \frac{2\tau}{De}\right)\|\vec{\phi}^{n+1} - \vec{\phi}^n\|^2 + (1-2\tau C_4)\|\nabla_h \vec{\phi}^{n+1}\|^2 + \\ & + 2\tau(C_1 - C_3)\|\vec{\phi}^n\|\|\nabla_h \vec{\phi}^n\|\|\nabla_h \vec{\phi}^n\|^2 \leq 2\tau\|\vec{\psi}^n\|\|\vec{\phi}^{n+1}\|. \end{aligned} \quad (41)$$

Пусть  $a \geq b$ , отсюда следует, что  $\frac{2}{De} - \frac{5}{2}C_4 \geq 0$ . (42)

Пусть  $C_1 - C_3\|\vec{\phi}^n\|\|\nabla_h \vec{\phi}^n\| \geq 0$ ;  $1 - \frac{24\tau C_1}{h^2} - \frac{2}{\tau} - \frac{2\tau}{De} > 0$ ;  $1-2\tau C_4 > 0$ . (43)

Тогда, учитывая неотрицательность третьего и пятого слагаемых в левой части (41), получим

$$a(\|\vec{\phi}^{n+1}\|^2 - \|\vec{\phi}^n\|^2) + C_5\|\nabla_h \vec{\phi}^{n+1}\|^2 \leq 2\tau\|\vec{\psi}^n\|\|\vec{\phi}^{n+1}\|, \quad (44)$$

где  $C_5 = 1 - 2\tau C_4$ .

Учитывая, что  $a = 1$ , имеем

$$\|\vec{\phi}^{n+1}\|^2 - \|\vec{\phi}^n\|^2 + C_5\|\nabla_h \vec{\phi}^{n+1}\|^2 \leq 2\tau\|\vec{\psi}^n\|\|\vec{\phi}^{n+1}\|.$$

Рассуждая аналогично, как для задачи (1)-(5), получим следующую оценку для задачи (34)-(37), (39):

$$\|\vec{\phi}^{n+1}\|^2 + C_5 \sum_{k=0}^n \|\nabla_h \vec{\phi}^{n+1}\|^2 \leq 5\tau^2 \left( \sum_{k=0}^n \|\vec{\psi}^k\|^2 \right)^2. \quad (45)$$

Далее, учитывая, что согласно (38),  $\|\vec{\psi}^n\| = O(h^2)$ , окончательно имеем

$$\|\vec{\phi}^{n+1}\|^2 + C_5 \sum_{k=0}^n \|\nabla_h \vec{\phi}^{n+1}\|^2 \leq C_6(\tau^2 + h^4). \quad (46)$$

Это доказывает сходимость решения разностной задачи (28)-(32) к решению дифференциальной задачи (1)-(5).

*Теорема.*

Пусть выполнены условия (43), тогда решение разностной схемы (28-32) устойчиво и сходится к решению дифференциальной задачи (1)-(5) со скоростью, определяемой неравенством (46).

Вышеописанной моделью и предложенным алгоритмом проведены численные расчеты при различных значениях входных параметров. Размеры рассматриваемой области составляли 35x35 километров, а высота приземного слоя фиксировалась в 3500 м, параметр конвекции  $\lambda = 0,16 \text{ м}/(\text{с} \cdot \text{град})$ . Параметр  $S$  - стратификации по физическому смыслу определяет изменения температуры с высотой, поэтому в расчетах вычислялся по вертикальному градиенту температуры и силы Кориолиса  $I = 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ . Значения горизонтальных и вертикальных коэффициентов турбулентных обмена принимались так:  $\mu_x = \mu_y = 6 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $\nu = 30 \text{ м}^2/\text{с}$ . В качестве характерного масштаба длины, скорости ветра и температуры использовались следующие числовые значения:  $L = 35000 \text{ м}$ ,  $U^* = 10 \text{ м}/\text{с}$ ,  $\theta^* = 20^\circ \text{C}$ .

Для приведения к безразмерным величинам входных параметров  $\lambda$ ,  $I$ ,  $S$ ,  $\mu_x$ ,  $\mu_y$ ,  $X, Y, H$  использовались следующие формулы:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda \cdot \theta^*}{U^*}, \quad \bar{I} = \frac{I \cdot L}{U^*}, \quad \bar{S} = \frac{S \cdot L}{\theta^*}, \quad \bar{\mu}_x = \frac{\mu}{L \cdot U^*}, \quad \bar{\mu}_y = \frac{\mu}{L \cdot U^*}, \quad \bar{X} = \frac{X}{L}, \quad \bar{Y} = \frac{Y}{L}, \quad \bar{H} = \frac{H}{L},$$

где  $U^*$  – характерная скорость;  $\theta$  – характерная температура;  $L$  – масштаб длины.

На рис. 1, 2 представлено отклонение ветра над водными поверхностями. Данный процесс наблюдается при умеренных скоростях ветра. При высоких скоростях флюктуа-

ции над водными поверхностями заметить сложно.

Источником угарного газа СО являются выхлопные газы автомобилей. Он образуется при сгорании топлива в двигателях внутреннего сгорания и при недостаточных температурах. В природных условиях на поверхности земли угарный газ СО образуется при неполном разложении органических соединений и при сгорании биомассы, в основном в ходе лесных пожаров. На рис. 3-4 представлены изолинии распространения данного вещества над городом Усть-Каменогорском при НМУ (неблагоприятные метеоусловия), т.е. при отсутствии ветра. На рис. 5-7 представлены изолинии распространения загрязняющих веществ при западном и северо-западном направлении ветра.

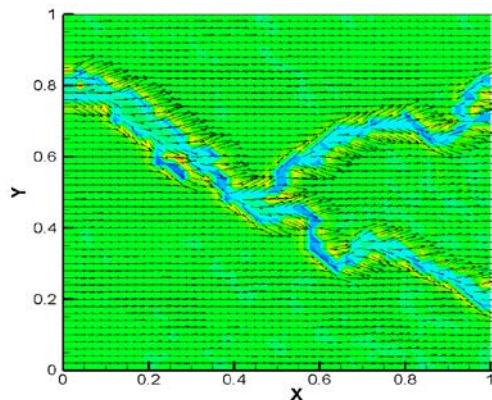


Рисунок 1 - Отклонение направления ветра над водными поверхностями при скорости ветра 1 м/с

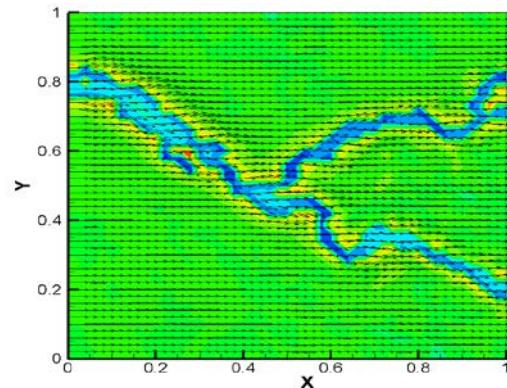


Рисунок 2 – Отклонение направления ветра над водными поверхностями при скорости ветра 2 м/с

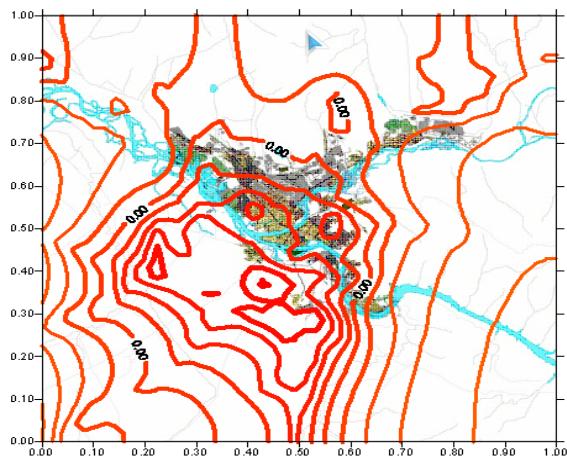


Рисунок 3 – Изолинии распространения СО (монооксид углерода) при неблагоприятных метеоусловиях (при отсутствии ветра)

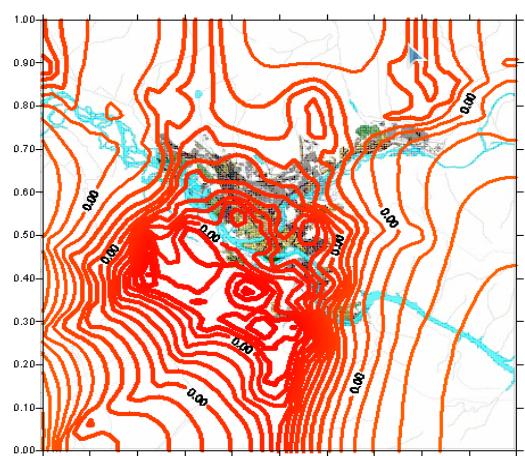


Рисунок 4 - Изолинии распространения СО<sub>2</sub> (диоксид углерода) при неблагоприятных метеоусловиях (при отсутствии ветра)

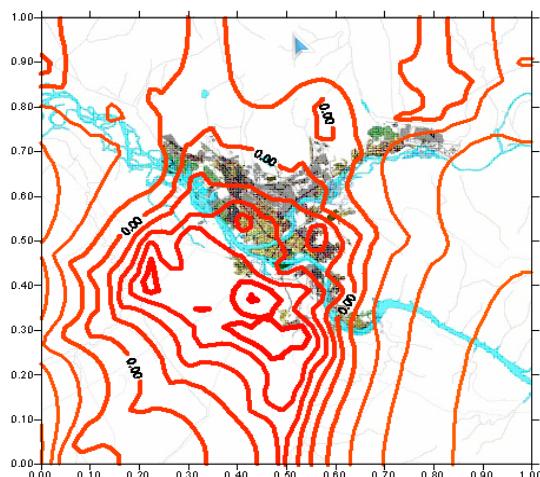


Рисунок 5 – Изолинии распространения СО (монооксид углерода) при западном направлении ветра со скоростью 1 м/с

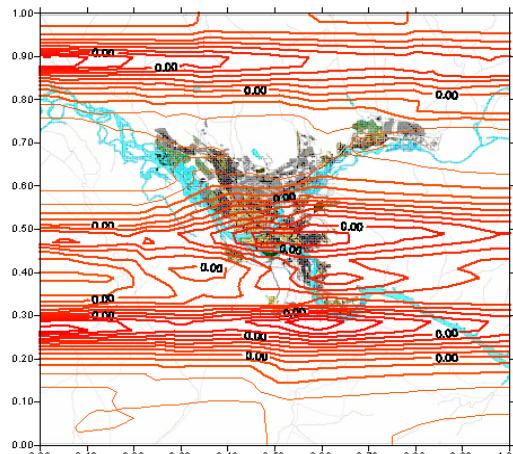


Рисунок 6 - Изолинии распространения СО<sub>2</sub> (диоксид углерода) при западном направлении ветра со скоростью 2 м/с.

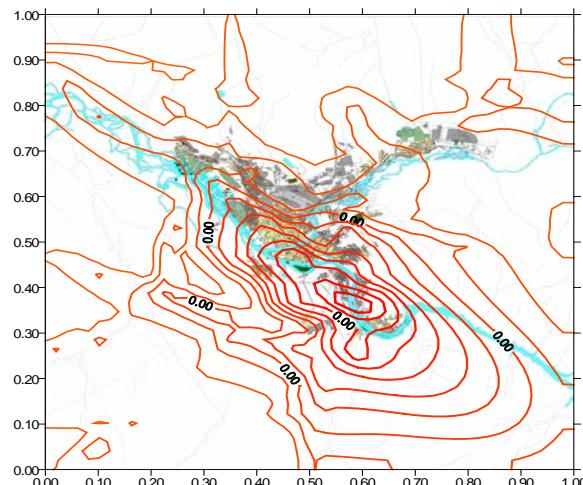


Рисунок 7 - Изолинии распространения СО (монооксид углерода) при северо-западном направлении ветра со скоростью 6 м/с

В результате численных экспериментов было установлено, что антропогенная примесь, выделяемая промышленными предприятиями и подхваченная ветровыми потоками при разных направлениях, перемещается на более значительные расстояния в зависимости от скорости ветра, что приводит к наложению полей загрязнения. При НМУ антропогенная примесь образует облако над промышленным городом.

#### Список литературы

1. Самарский А.А. Методы решения сеточных уравнений / А.А. Самарский, Е.С. Николаев.- М.: Наука, 1978. - 592 с.
2. Марчук Г.И. Методы расщепления. - М.: Наука, 1988. - 263 с.
3. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. - М.: Мир, 1980. - 618 с.

4. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. - М.: Мир, 1991. - 504 с.
5. Ковеня В.М. Метод расщепления в задачах газовой динамики / В.М. Ковеня, Н.Н. Яненко. - Новосибирск: Наука, 1981. - 304 с.
6. Ковеня В.М. Разностные методы решения многомерных задач: Курс лекций. - Новосибирск, 2004. - 146 с.
7. Ковеня В.М. Модификации алгоритмов расщепления для решения уравнений газовой динамики и Навье–Стокса / В.М. Ковеня, А.Ю. Слюняев // Вычислительные технологии. - 2007.- № 3. - С. 71-86.
8. Ковеня В.М. Об устойчивости схем расщепления и приближенной факторизации для решения систем многомерных уравнений // Вычислительные технологии. - 2011. - №6. - С. 38-47.
9. Кобельков Г.М. Симметричные аппроксимации уравнений Навье–Стокса: Матем. сб. - 193:7 (2002). –С. 87–108.
10. Друца А.В. О сходимости разностных схем для уравнений динамики океана: Матем. сб. / А.В. Друца, Г.М. Кобельков. - 203:8 (2012). – С. 17–38.
11. Сидняев Н.И. О точности разностной схемы для уравнений Навье–Стокса / Н.И. Сидняев, Н.М. Гордеева // Вестник Самарского гос. техн. ун-та. Сер. физ.-мат. науки. - 1(34) (2014). – С. 156–167.
12. Blascoa J., Codinab R. Space and time error estimates for a first order, pressure stabilized finite element method for the incompressible Navier–Stokes equations. Applied Numerical Mathematics. 38(2001) 475–497.
13. Guoliang He., Yinnian He., Zhangxin Chen. A penalty finite volume method for the transient Navier–Stokes equations. Applied Numerical Mathematics 58 (2008) 1583–1613.
14. Javier de Frutos., Bosco García., Julia Novo. Two-Grid Mixed Finite-Element Approximations to the Navier-Stokes Equations. Journal of Scientific Computing 1. September 52 (2012) 619-637.
15. Temirbekov A.N., Danaev N.T.,Malgazhdarov E.A. Modeling of Pollutants in the Atmosphere Based on Photochemical Reactions//Eurasian chemico-technological journal. The International Higher Education Academy of Sciences.-2014.- Vol. 16. № 1.- P. 61-71.
16. Ладыженская О.А. Математические вопросы динамики вязкой несжимаемой жидкости. - М.: Наука, 1970. - 288 с.
17. Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред. М.: Физматлит, 1994. - 448 с.

Получено 18.04.2018



## ЦИФРЫ И ФАКТЫ

По данным американских генетиков, черты лица каждого из нас определяются более чем 4300 участками генома. Поэтому шансы найти в мире своего двойника исчезающе малы.

Бразилия намерена к 2030 году восстановить 12 миллионов гектаров вырубленных тропических лесов.

«Наука и жизнь» № 2, 2018.



УДК 623.4.017; 662–93

**Р.В. Гроскоп**

Национальный университет обороны им. первого президента Республики Казахстан – лидера нации, г. Астана

**ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОПАДАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ТОПЛИВНУЮ СИСТЕМУ  
БРОНЕТРАНСПОРТЕРА БТР-80**

*В статье обоснован процесс попадания атмосферного воздуха в топливную систему бронетранспортера БТР-80 и сформулированы выводы.*

*Мақалада БТР-80 бронетранспортерінің отын жүйесіне атмосфералық ауаның тусу процесі негізделген және қорытындылары тұжырымдалған.*

*Justified the process of getting air in the fuel system of the BTR-80 and formulated conclusions.*

**Ключевые слова:** топливная система, атмосферный воздух, режимы работы, область, участок.

Попадание воздуха в топливную систему присуще практически всей технике, осуществляющей свою работу посредством питания двигателей дизельным топливом, а борьба с этим негативным явлением в процессе эксплуатации, к сожалению, пока практически бесполезна. Об этом в первую очередь свидетельствует наличие таких устройств и агрегатов в топливной системе, как фильтр тонкой очистки топлива (далее ФТОТ), топливоподкачивающие насосы, а также специальные дренажные устройства в конструкциях топливного насоса высокого давления (далее ТНВД). Дополнительные функции, которые выполняются этой аппаратурой, направлены только лишь на борьбу уже таких свершившихся событий, как удаление воздуха из топливной системы и не имеют никакого отношения к профилактическим мероприятиям.

Известно, что подсос воздуха в топливную систему - это конкретное событие, происходящее по причинам нарушения ее герметичности [1], которое возникает, как правило, из-за неплотностей в соединениях на участках топливный бак–ТННД [2]. Казалось бы, появление атмосферного воздуха в системе питания дизельным топливом - это вполне нормальный и естественный процесс, образующийся за счет разрежения в топливных баках посредством расхода топлива. На самом же деле данный процесс является нормальным до тех пор, пока топливная аппаратура на определенных своих участках выполняет заданные функции и только если это касается топливных баков!

Топливная система двигателя осуществляет свою работу по двум режимам: подготовительному и основному. Соответственно, с переходом от одного режима работы системы к другому топливо внутри ее будет находиться в совершенно разных состояниях. На рис. 1 показана схема условного разделения топливной системы бронетранспортера БТР-80 на переменную (I) и постоянную (II) область при подготовительном режиме ее работы. В свою очередь область I имеет определенные участки, которые в зависимости от режимов работы системы переходят из одного состояния в другое.

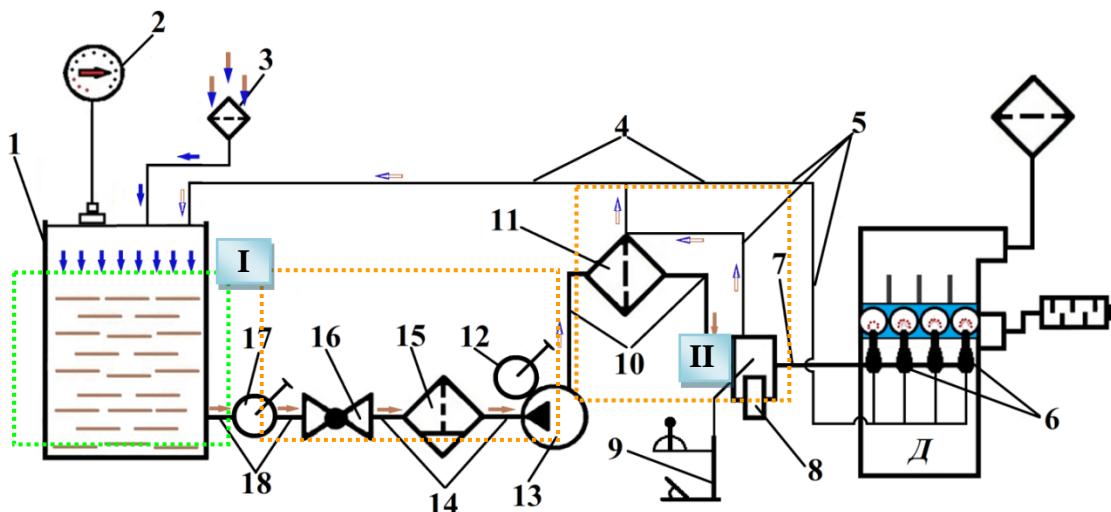


Рисунок 1 – Схема условного деления топливной системы бронетранспортера БТР-80

на участки при подготовительном режиме: I – область переменного давления:

- участок разрежения;
- участок низкого давления;
- участок низкого давления;
- поступление неотфильтрованного воздуха из атмосферы;
- заполнение отфильтрованным воздухом топливного бака в процессе расхода топлива;
- движение топлива и воздуха при прокачке системы;
- движение топлива при вытесненном из системы воздуха;
- 1 – топливный бак;
- 2 – электрический датчик уровня топлива;
- 3 – воздушный фильтр;
- 4 – сливные топливопроводы;
- 5 – дренажные топливопроводы;
- 6 – форсунки;
- 7 – топливопровод высокого давления;
- 8 – топливный насос высокого давления;
- 9 – узел ручного и ножного привода управления подачей топлива;
- 10, 14, 18 – топливопроводы низкого давления;
- 11 – фильтр тонкой очистки топлива;
- 12, 17 – ручные топливоподкачивающие насосы;
- 13 – топливный насос низкого давления;
- 15 – фильтр грубой очистки топлива;
- 16 – топливные краны

Необходимо обратить внимание на то, что переменная область I (рис. 1) на подготовительном режиме работы системы создает как участок низкого давления, так и разрежение, а переходное состояние при этом осуществляется ручной топливоподкачивающим насосом 17. Что касается постоянной области II и ее участка низкого давления, то они являются неизменными. Объясняется это достаточно просто. Суть подготовительного режима работы заключается в прокачке топливной системы ручным топливоподкачивающим насосом в целях удаления из нее воздуха. В этом случае в топливном баке 1 (рис. 1) создается небольшой участок разрежения, включая часть конструкции самого ручного топливоподкачивающего насоса, при котором отфильтрованный воздушным фильтром 3 атмосферный воздух заполняет объем бака. Вот это и есть естественный и нормальный процесс, при котором и только в топливном баке образуется атмосферный воздух за счет разрежения в топливных баках посредством расхода топлива!

Если на входе ручного топливоподкачивающего насоса в процессе прокачки топлива образовывается разрежение, то за ним в питающей магистрали (рис. 1) (дренажный топливопровод ТНВД 5, топливопроводы низкого давления 10, 14 и 18, фильтр тонкой очистки топлива 11, ручной топливоподкачивающий насос 12 с топливным насосом низкого давления 13, фильтр грубой очистки топлива 15, топливные краны 16) появляются участки низкого давления ( $0,25\text{--}2,4 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ). При таком давлении топливо производит вытеснение воздуха из питающей магистрали и посредством сливных топливопроводов 4

осуществляет сброс его обратно в топливный бак. Необходимо особо обратить внимание, что участки низкого давления в данном случае присутствуют как в переменной I, так и в постоянной области II.

На рис. 2 показана схема условного разделения топливной системы бронетранспортера БТР-80 на переменную I, а также две постоянные области II и III при основном режиме ее работы. В данном случае область III имеет такой же неизменный, как и область II, участок, но только уже высокого давления. В отличие от предыдущих двух, область III образуется только с переходом топливной системы на основной режим работы.

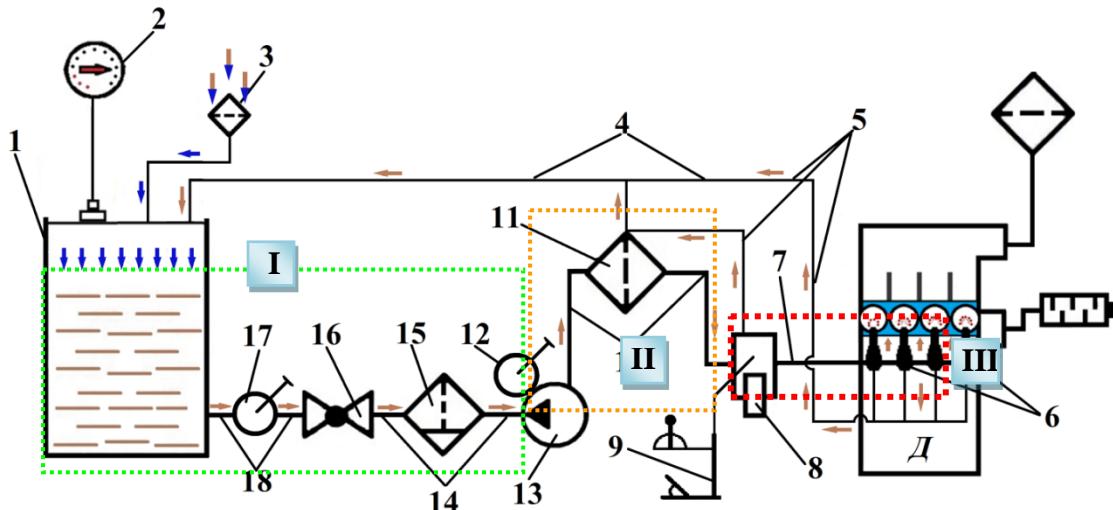


Рисунок 2 – Схема условного деления топливной системы бронетранспортера БТР-80 на участки при основном режиме работы: I – область переменного давления;

..... - участок разрежения; II – область постоянного давления;

.... - участок низкого давления; III – область постоянного давления;

..... - участок высокого давления; — - движение топлива при вытеснении из системы воздухе;  
1 – топливный бак; 2 – электрический датчик уровня топлива; 3 – воздушный фильтр; 4 – сливные топливопроводы; 5 – дренажные топливопроводы; 6 – форсунки;

7 – топливопровод высокого давления; 8 – топливный насос высокого давления; 9 – узел ручного и ножного привода управления подачей топлива; 10, 14, 18 – топливопроводы низкого давления; 11 – фильтр тонкой очистки топлива; 12, 17 – ручные топливоподкачивающие насосы; 13 – топливный насос низкого давления; 15 – фильтр грубой очистки топлива; 16 – топливные краны

Необходимо отметить, что образование области III (рис. 2) вызвано только работой ТНВД 8, который включается в работу с первыми оборотами коленчатого вала двигателя. Прежде всего ТНВД сначала сам запитывается топливом от ТННД 13, а уже затем осуществляет его подачу по топливопроводу 7 к форсункам 6, но уже под высоким давлением. Излишки топлива, образующиеся при работе в ТНВД и форсунках, по дренажным 5 и сливным 4 топливопроводам отводятся обратно в топливный бак 1. Помимо прочего, наглядно видно, что в области I произошла трансформация имеющихся участков из двух (рис. 1) в доминирующий один (рис. 2).

Суть заключается в следующем. Этот процесс связан с окончанием физических действий в отношении ручного топливоподкачивающего насоса 17 и началом работы ТННД. При этом уже не ручной топливоподкачивающий насос является переходником от одного состояния участков к другому, а ТННД. В процессе работы ТННД, начиная от топливного бака 1, включая ручной топливоподкачивающий насос 12, создает уже большой участок раз-

режения (рис. 2) в области I по питающей магистрали (топливопроводы низкого давления 14 и 18, фильтр грубой очистки топлива 15, топливные краны 16, ручной топливоподкачивающий насос 17). При этом так же, как и на рис. 1, отфильтрованный воздушным фильтром 3 атмосферный воздух заполняет объем топливного бака, что является естественным и нормальным процессом образования в нем атмосферного воздуха. Если в питающей магистрали в области I (рис. 2) образовывалось разрежение, то за ним в пределах области II (дренажный топливопровод ТНВД 5, топливопроводы низкого давления 10, фильтр тонкой очистки топлива 11), как и положено, появится участок низкого давления ( $0,25\text{--}2,4 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ). При таком давлении образовавшиеся излишки топлива по дренажному топливопроводу ТНВД 5 и сливному топливопроводу 4 сбрасываются обратно в топливный бак. На рис. 3 показана схема основного режима работы топливной системы бронетранспортера БТР-80 при условии разгерметизации питающей ее магистрали. Необходимо отметить, что участки областей II и III остались неизменны, чего нельзя сказать о процессах, происходящих в переменной области I.

Прежде всего причинами нарушений герметичности питающей магистрали области I являются неплотности в соединениях ее конструкции, которые с легкостью провоцируют процесс подсоса воздуха, что, по сути, меняет весь нормальный процесс работы системы.

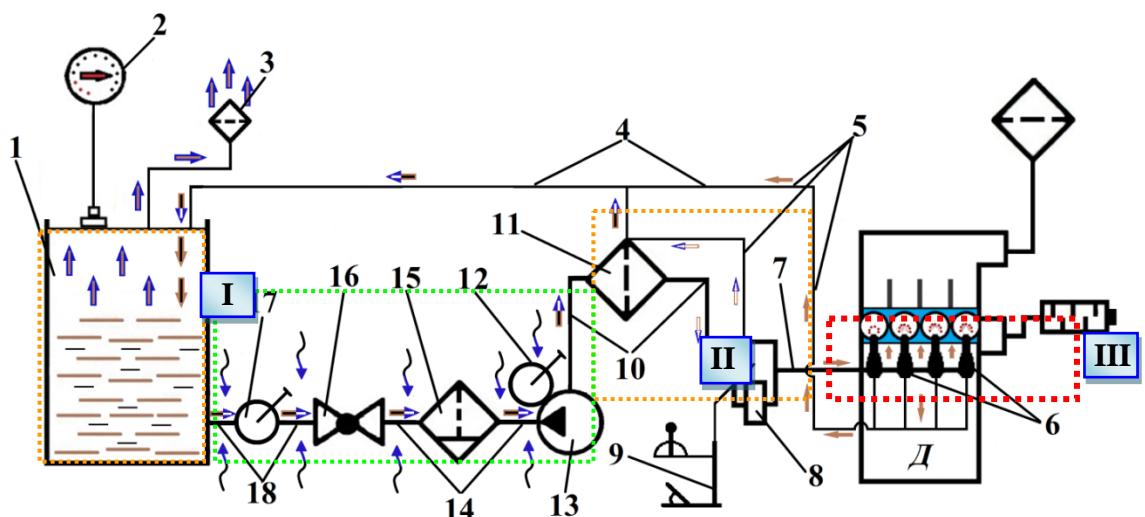


Рисунок 3 – Схема работы системы питания топливом БТВ при основном режиме работы в условиях частичной разгерметизации питающей магистрали:

- I – область переменного давления: ..... - участок низкого давления; ..... - участок разрежения;
- II – область постоянного давления: ..... - участок низкого давления; III – область постоянного давления: ..... - участок высокого давления; ↗ - подсос неочищенного воздуха в местах нарушения креплений устройств топливной системы; ➔ - движение загрязненного топлива, смешанного с попавшим неочищенным воздухом; ➡ - сброс топлива, загрязненного примесями, в топливный бак; ➤ - выброс паров топлива с воздухом в атмосферу; 1 – топливный бак; 2 – электрический датчик уровня топлива; 3 – воздушный фильтр; 4 – сливные топливопроводы; 5 – дренажные топливопроводы; 6 – форсунки; 7 – топливопровод высокого давления; 8 – топливный насос высокого давления; 9 – узел ручного и ножного привода управления подачей топлива; 10, 14, 18 – топливопроводы низкого давления; 11 – фильтр тонкой очистки топлива; 12, 17 – ручные топливоподкачивающие насосы; 13 – топливный насос низкого давления; 15 – фильтр грубой очистки топлива; 16 – топливные краны

Необходимо отметить, что нарушения герметичности топливной системы в области I (рис. 3) могут возникнуть в любом месте (от ручного топливоподкачивающего насоса 17,

включая часть конструкции топливного насоса низкого давления 13) участка разрежения, в результате чего начинается проникновение неочищенного атмосферного воздуха. В этом случае возникшее разрежение области I, вызванное работой ТННД 13, уже не будет затрагивать топливный бак 1, а напротив, создаст в нем участок низкого давления за счет сброса отводимого с системы воздуха, превышающего объем сгораемого топлива. При этом негативные последствия топливной системе уже будут обеспечены, так как попавший воздух в границах участка разрежения области I за счет работы ТННД будет направлен вместе с топливом в область II, при этом насыщая его различными загрязнениями. Большая часть воздуха с топливом, конечно же, будет удаляться через клапан жиклер ФТОТ 11, однако при значительном его попадании он все же достигнет ТНВД 8, а его механические примеси, находящиеся уже в топливе, примут участие в изнашивании его трущихся поверхностей. В лучшем случае воздух будет выброшен предназначенным для этой цели перепускным клапаном ТНВД, в худшем попадет уже в форсунки.

Необходимо обратить особо внимание на то, что даже если попавший в систему воздух будет вытесняться ФТОТ (рис. 3) и направится по дренажным 5 и сливным 4 топливопроводам в топливный бак, то это никак не спасет ситуацию. Дело в том, что примеси, содержащиеся изначально в воздухе, с попаданием в топливо начнут его загрязнять и, соответственно, вместе с ним перемещаться, образуя при этом естественный круговорот по всей топливной системе. В результате этого процесса чем дольше работает машина, тем больше в ее топливную систему засасывается неочищенного воздуха, вызывающего негативные последствия.

Таким образом, рассмотрев процесс попадания атмосферного воздуха в топливную систему бронетранспортера, необходимо сделать определенные выводы.

Во-первых, негативная составляющая этого процесса заключается в том, что в топливе происходит образование различных загрязнений и их дальнейший рост, способствующий ускоренному засорению фильтрующих элементов.

Во-вторых, эти загрязнения несут в себе различный спектр примесей, наибольшую опасность которых составляют механические частицы кварца, способствующие увеличению изнашивания трущихся поверхностей устройств и агрегатов топливной системы.

В-третьих, наличие примесей в топливе изменяет его химический состав.

В-четвертых, если воздух, попавший через неплотности на участке I, по своему объему будет больше, чем фактический объем сжигаемого топлива в топливных баках, то вместо положенного разрежения в топливных баках уже будет присутствовать избыточное давление. В этом случае воздух из топливного бака, насыщенный парами топлива, будет устремляться уже в атмосферу через воздушный фильтр 3 (рис. 2, 3), что, по сути, изменяет весь процесс нормальной работы топливной системы, алгоритм которой установлен заводом изготовителем.

#### Список литературы

1. Баранов Ю.П. Техническая эксплуатация автомобилей / Ю.П. Баранов, Н.Л. Давидович, Г.В. Крамаренко. - М.: Транспорт, 1972. – 440 с.
2. Буралёв Ю.В. Устройство, обслуживание и ремонт топливной аппаратуры автомобилей / Ю.В. Буралёв, О.А. Мартиров, Е.В. Кленников. - М.: Высшая школа, 1979. – 288 с.

Получено 18.04.2018



## ҚҰТТЫҚТАЙМЫЗ! ПОЗДРАВЛЯЕМ!

**60** жас  
лет

**ЧЕРНАВИН**  
**ВАЛЕРИЙ ЮРЬЕВИЧ**  
кандидат технических наук,  
профессор кафедры строительства



Чернавин Валерий Юрьевич родился в 1958 г. в г. Усть-Каменогорске. В 1975 г. окончил с золотой медалью СШ № 12 г. Усть-Каменогорска. С 1975 по 1980 гг. обучался в УК СДИ по специальности «Промышленное и гражданское строительство». С 1982 по 1984 гг. прошел научную стажировку в Центральной лаборатории теории железобетона научно-исследовательского института бетона и железобетона Госстроя СССР под руководством академика Гвоздева А.А. С 1984 по 1987 гг. обучался в аспирантуре НИИЖБ и в 1987 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени к. т. н. по специальности «Строительные конструкции» на тему «Оценка длительной прочности и деформативности различных видов бетонов с учетом нелинейной ползучести и накопления повреждений».

В 1995 г. ему присвоено ученое звание доцента по специальности «Строительство», а в 1999 г. – академическое звание профессора ВКГТУ.

С 1997 г. осуществляет научное руководство лабораторией «БОСКОР», занимающейся оценкой технического состояния, сейсмобезопасности зданий и сооружений и разработкой композитных конструкционных строительных материалов с использованием техногенных отходов.

Им опубликованы более 100 научных, научно-методических статей, инновационных патентов, учебных и учебно-методических пособий, монография. Под его руководством защищены две кандидатские и двадцать пять магистерских диссертаций. Активно участвует в общественной жизни: был заместителем декана строительного факультета по работе в общежитии, ответственным секретарем приемной комиссии, членом Ученого совета строительно-архитектурного института, членом проф. комитета университета. В настоящее время является членом Ученого совета и научно-технического совета университета, членом редколлегии научного журнала «Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева».

В.Ю. Чернавин отнесен благодарственными грамотами ректора ВКГТУ и Ассоциации выпускников ВКГТУ. В 2000 г. награжден грамотой акима ВКО, в 2009 г. – грамотой ВК областного Совета профсоюзов, в 2018 г. – благодарственным письмом акима Усть-Каменогорска. В 2007 г. ему присвоено звание «Лучший менеджер в науке» ВКГТУ, в 2009, 2010 и 2011 г. – звание «Лучший профессор года» ВКГТУ.



**ДОРОГОЙ ЮБИЛЯР! ЖЕЛАЕМ КРЕПКОГО ЗДОРОВЬЯ, СЧАСТЬЯ,  
ДАЛЬНЕЙШИХ ТВОРЧЕСКИХ УСПЕХОВ И ИСПОЛНЕНИЯ ВСЕХ ЗАМЫСЛОВ.**

**МЕРЕЙТОЙ ИЕСІНЕ МЫҚТЫ ДЕНСАУЛЫҚ, ТАУСЫЛМАС БАҚЫТ,  
ТВОРЧЕСТВОЛЫҚ, ТАБЫС, БАРЛЫҚ, ТҮПКІ ОЙЛАРЫҢЫЗДЫҢ  
ОРЫНДАЛУЫН ТІЛЕЙМІЗ!**

**ҚҰТТЫҚТАЙМЫЗ!  
ПОЗДРАВЛЯЕМ!**



**60** жас  
лет

❀

**ВДОВИН**  
**ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ**  
кандидат технических наук,  
заведующий кафедрой машиностроения



❀

Родился в 1958 г. в г. Усть-Каменогорске Восточно-Казахстанской области.

В 1982 г. закончил УК СДИ.

С 1982 по 1984 гг. – ассистент кафедры «Экономика автотранспорта» УК СДИ.

С 1984 по 1985 гг. проходил стажировку в Московском автомобильно-дорожном институте. Обучался на специальном факультете переподготовки кадров по новым, перспективным направлениям науки и техники.

С 1985 по 1988 гг. – аспирант Московского автомобильно-дорожного института.

В 1989 г. защитил кандидатскую диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Проработал в нашем вузе 36 лет, из них 26 лет на должности заведующего кафедрой.

Является членом РУМС по специальностям 5В090100 "Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта" и 5В090900 "Логистика".

Принимал участие в разработке «Государственных общеобязательных стандартов образования Республики Казахстан».

Под руководством Вдовина В.Н. в разные годы выполнялись проекты по реорганизации маршрутной сети городского пассажирского транспорта в городах Риддер, Усть-Каменогорске, Семее.

Основные направления работы: организация работы грузового и пассажирского автомобильного транспорта, управление транспортно-складскими системами с использованием логистических подходов.

❀

**ДОРОГОЙ ЮБИЛЯР! ЖЕЛАЕМ КРЕПКОГО ЗДОРОВЬЯ, СЧАСТЬЯ,  
ДАЛЬНЕЙШИХ ТВОРЧЕСКИХ УСПЕХОВ И ИСПОЛНЕНИЯ ВСЕХ ЗАМЫСЛОВ.**

**МЕРЕЙТОЙ ИЕСІНЕ МЫҚТЫ ДЕНСАУЛЫҚ, ТАУСЫЛМАС БАҚЫТ,  
ТВОРЧЕСТВОЛЫҚ ТАБЫС, БАРЛЫҚ ТҮПКІ ОЙЛАРЫНЫЗДЫҢ  
ОРЫНДАЛУЫН ТІЛЕЙМІЗ!**

## МАЗМҰНЫ

ЖЕР ТУРАЛЫ ФЫЛЫМДАР ЖӘНЕ  
ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ФЫЛЫМДАР

*Әбсеитов Е.Т., Сарсенов А.М., Ермаканова Ф.Р., Абылгазинова А.Т., Айтлесов К.К., Лепесов К.К.* Қазақстанның хром өнеркәсібі көсіпорындарында минералды шикізатты кешенді пайдалану және өндіріс тиімділігін арттыру

3

*Әбсеитов Е.Т., Сарсенов А.М., Ермаканова Ф.Р., Абылгазинова А.Т., Айтлесов К.К., Лепесов К.К.* Қоршаған ортадағы хром қосылыстарын анықтау үшін кызынақ өсімдігін биоиндикатор ретінде зерттеу

8

*Әкімбекова Н.Н., Жолмагамбетов Н.Р., Медеубаев Н.А., Ахметова А.Ж.* Көмір құрамының, қасиеттерінің және қабаттарының газсыздандынуның шахта ауасының шандануына әсерін зерттеу  
*Әкімбекова Н.Н., Сапарова Г.К., Байтуганова М.О., Кakenova M.Ж.* Тау-кен қазбаларының аэродинамикалық параметрлерінің көмір шахталарының қауіпсіздігіне және желдегу жағдайына әсери

14

*Рудько Г.И., Мятченко А.В., Портнов В.С., Исатаева Ф.М.* Қазақстанның кен орындарын геологиялық-экономикалық бағалауды жетілдіру

22

*Серікбаева А.К., Самешова А.К.* Қорғасындың қойыртпак-күкірт жүйесін зерттеу

29

ТЕХНИКАЛЫҚ ФЫЛЫМДАР  
ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

*Абдеев Б.М., Мұслиманова Г.Е., Бirim T.Ф.* Жарты жазықтыққа келденен күш колданылуы туралы қатты дененің деформацияланатын механикасының класикалық есебінің жаңа шешімі

35

*Әбдікерова У.Б.* Ариалардың каптамаларын күрғақ бетон қоспаларын қолдана отырып бетондау технологиясы

45

*Әбікенова Ш.К., Абдрахманова Н.Б.* Қазақстан Республикасында өндірістік жаражаттану бойынша статистикалық ақпараттарды онтайландыру

47

*Әбікенова Ш.К., Айткенова Г.Т., Мұқанова Д.Б.* Тау-кен көсіпорыны мысалында зиянды және қауіпті еңбек жағдайларында жұмыс істейтін жұмыскерлерге көсіптік тәуекелді бағалау нәтижелері негізінде кепілдіктерді белгілеу

52

## СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ  
И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Әбсеитов Е.Т., Сарсенов А.М., Ермаканова Ф.Р., Абылгазинова А.Т., Айтлесов К.К., Лепесов К.К.* Комплексное использование минерального сырья и повышение эффективности производства на предприятиях хромовой промышленности Казахстана

3

*Әбсеитов Е.Т., Сарсенов А.М., Ермаканова Ф.Р., Абылгазинова А.Т., Айтлесов К.К., Лепесов К.К.* Исследование растений томатов в качестве биоиндикатора для определения соединений хрома в окружающей среде

8

*Акимбекова Н.Н., Жолмагамбетов Н.Р., Медеубаев Н.А., Ахметова А.Ж.* Исследование влияния дегазации пластов, состава и свойств угля на запыленность шахтного воздуха

14

*Акимбекова Н.Н., Сапарова Г.К., Байтуганова М.О., Кakenova M.Ж.* Влияние аэродинамических параметров горных выработок на состояние проветривания и безопасности угольных шахт

17

*Рудько Г.И., Мятченко А.В., Портнов В.С., Исатаева Ф.М.* Совершенствование геолого-экономической оценки месторождений Казахстана

22

*Серікбаева А.К., Самешова А.К.* Исследование системы свинцовый шлам–сера

29

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ  
И ТЕХНОЛОГИИ

*Абдеев Б.М., Мұслиманова Г.Е., Birim T.Ф.* Новое решение классической задачи механики твердого деформируемого тела о действии поперечной силы на полу平面

35

*Әбдікерова У.Б.* Технология бетонирования облицовок каналов с применением сухих бетонных смесей

45

*Әбікенова Ш.К., Абдрахманова Н.Б.* Оптимизация статистической информации по производственному травматизму в Республике Казахстан

47

*Әбікенова Ш.К., Айткенова Г.Т., Мұқанова Д.Б.* Предоставление гарантий работникам, занятым во вредных и (или) опасных условиях труда, на основании результатов оценки профессионального риска на примере горнорудного предприятия

52

<b>Әбікенова Ш.К., Танабаева А.Е., Мұқанова Д.Б.</b> Қазақстан Республикасында науқастану қаупін бағалаудың әдістемелік тәсілдері	57	<b>Әбікенова Ш.К., Танабаева А.Е., Мұқанова Д.Б.</b> Методические подходы в оценке рисков заболеваемости в Республике Казахстан	57
<b>Әбікенова Ш.К., Мұқанова Д.Б., Айткенова Г.Т.</b> Мұнайөндеу кәсіпорындары мысалында зиянды (ауыр) еңбек жағдайында жұмыс істейтін жұмысшыларға кепілдік берудегі жаңа тәсіл	63	<b>Әбікенова Ш.К., Мұқанова Д.Б., Айткенова Г.Т.</b> Новый подход в предоставлении гарантий работникам, занятым во вредных (тяжелых) условиях труда, на примере нефтеперерабатывающего предприятия	63
<b>Әділканова М.Ә., Коқаева Г.А.</b> Өндірістік өнімдерден вакуумдық айдау арқылы алынған селеннін термодинамикасы мен кинетикасын зерттеу	67	<b>Әділканова М.Ә., Коқаева Г.А.</b> Исследование термодинамики и кинетики вакуумной возгонки селена из промпродуктов	67
<b>Амангелдиев Н.Е., Жұнусбекова Ж.Ж.</b> Топырақтарды кесу теорияларын талдау	73	<b>Амангелдиев Н.Е., Жұнусбекова Ж.Ж.</b> Анализ теории резания грунтов	73
<b>Аринова Д.Б., Тастанбекова А.А., Шуханова Ж.К., Шегенова Г.К., Охапова К.Т., Ибрағимова З.А.</b> Мұнайөндеу өнеркәсіптегінде қалдықтарын шиналды резенке өндірісінде қолдану жолымен жою	76	<b>Аринова Д.Б., Тастанбекова А.А., Шуханова Ж.К., Шегенова Г.К., Охапова К.Т., Ибрағимова З.А.</b> Утилизация отходов нефтеперерабатывающей промышленности путем использования их в производстве шинных резин	76
<b>Аринова Д.Б., Аскаров Е.С., Тастанбекова А.А., Шуханова Ж.К.</b> Центрден тепкіш диірменнің конструктивті параметрлерін зерттеу	80	<b>Аринова Д.Б., Аскаров Е.С., Тастанбекова А.А., Шуханова Ж.К.</b> Исследования конструктивных параметров центробежно-гирационной мельницы	80
<b>Бакланов А.Е., Григорьева С.В., Елеусізова К.А., Пронина М.А.</b> VLC технологиясына негізделген деректер беру функциясы бар жарық диодты жарықтандыру жүйесін әзірлеу	84	<b>Бакланов А.Е., Григорьева С.В., Елеусізова К.А., Пронина М.А.</b> Разработка светоизодной системы освещения с функцией передачи данных на основе технологии VLC	84
<b>Бисакаев С.Г., Омарова С.Т., Сактаганова Г.С.</b> Еңбекті қорғаудағы каржылық қамтамасыз етудің рөлі	89	<b>Бисакаев С.Г., Омарова С.Т., Сактаганова Г.С.</b> Роль финансового обеспечения в охране труда	89
<b>Бисакаев С.Г., Джұмагулова Н.Г.</b> Әйелдер еңбегін қолдануға тыым салынатын жұмыстар тізімін өзектендіру туралы	94	<b>Бисакаев С.Г., Джұмагулова Н.Г.</b> Об актуализации списка работ, на которых запрещается применение труда женщин	94
<b>Гурьянов Г.А., Дудкин М.В., Вавилов В.А., Ким А.И.</b> Жолдардың катты жабынындағы мұзды соккы арқылы бұзу үдерісінің бастанпқы тәжірибелік зерттеулері	99	<b>Гурьянов Г.А., Дудкин М.В., Вавилов В.А., Ким А.И.</b> Начальные экспериментальные исследования процесса разрушения ударом льда на твердом покрытии дорог	99
<b>Вдовин В.Н., Исқакова М.М.</b> Әртүрлі автомобиль көліктегінде тартылу объектілерін және ең ықтимал жүріс бағдарларын анықтау	106	<b>Вдовин В.Н., Исқакова М.М.</b> Выявление объектов тяготения различных видов автомобильного транспорта и наиболее вероятных маршрутов следования	106
<b>Жақупов А.Н., Богомолов А.В.</b> 13ХФА төмөн қоспаланған болаттың механикалық қасиеттеріне термоциклдік өндөудің әсері	113	<b>Жақупов А.Н., Богомолов А.В.</b> Влияние термоциклической обработки на механические свойства низколегированной стали 13ХФА	113
<b>Жаркевич О.М.</b> Ыстықтай жайылған орамдықты тасымалдау үшін тізбектік конвейер аунағы мойнының беріктігі мен тозуга төзімділігін арттыру	118	<b>Жаркевич О.М.</b> Повышение прочности и износостойкости шейки роликов цепного конвейера для транспортировки горячекатанных рулонов	118
<b>Кайрбаева А.Е., Джінгілбаев С.С., Васilenko B.N., Фролова Л.Н., Михайлова Н.А.</b> Сықтайдың сыйымдау әдісімен аскабақ пен қауынның дәндөрін сыйымдау процесінің кинетикалық заңдарын талдау	124	<b>Кайрбаева А.Е., Джінгілбаев С.С., Васilenko B.N., Фролова Л.Н., Михайлова Н.А.</b> Анализ кинетических закономерностей процесса прессования семян тыквы и дыни методом холодного прессования	124

<b>Мәкенова Д.М., Мәкенов А.А., Бекболатов К.С.</b> Қалалардың атмосфералық ауасының экологиялық мониторинг жүйесін жетілдіру	127	<b>Макенова Д.М., Макенов А.А., Бекболатов К.С.</b> Совершенствование системы экологического мониторинга атмосферного воздуха городов	127
<b>Махатов Ж.Б., Кедельбаев Б.Ш., Айменова Ж.Е., Долтаева Б.З., Тайжанова М.А., Оразова М.М.</b> Оңтүстік Қазақстан аумағында өсетін бидай сабанының химиялық күрәмін зерттеу	132	<b>Махатов Ж.Б., Кедельбаев Б.Ш., Айменова Ж.Е., Долтаева Б.З., Тайжанова М.А., Оразова М.М.</b> Исследование химического состава пшеничной соломы, произрастающей на территории Южного Казахстана	132
<b>Мұқанов Р.Б., Менебаев Т.М., Қасенов А.Ж., Әбішев К.К., Мұқанова А.С.</b> Тесіктерді өндөуге арналған кескіш бастиектің күрәлымы	136	<b>Мұқанов Р.Б., Менебаев Т.М., Қасенов А.Ж., Абисhev K.K., Mukanova A.C.</b> Конструкции резцовых головок для обработки отверстий	136
<b>Ревуцкий А.В., Оңалбаева Ж.С., Қайназарова А.Э.</b> Сипаттамалар жақсартылған танталдың агломерацияланған үнтақтарын (ТАҮ) өндіру технологиясын онтайланадыру	139	<b>Ревуцкий А.В., Оңалбаева Ж.С., Қайназарова А.Э.</b> Оптимизация технологии производства агломерированных порошков тантала (АГП) с улучшенными характеристиками	139
<b>Сатыбалдина Д.Ж., Сайлауқызы Ж., Садықов А.А., Ташиатов Н.Н.</b> Хэмминг кодын блис негізінде аппараттық жүзеге асыру	144	<b>Сатыбалдина Д.Ж., Сайлауқызы Ж., Садықов А.А., Ташиатов Н.Н.</b> Аппаратная реализация кода Хэмминга на основе ПЛИС	144
<b>Толеуова А.Р., Балбекова Б.К., Нурумгалиев А.Х.</b> Кешенді қорытпаларды қолданғаннан қышқылсыздандырылған болаттың құрылымтүзілуіндегі кейір ерекшеліктер	150	<b>Толеуова А.Р., Балбекова Б.К., Нурумгалиев А.Х.</b> Некоторые особенности структурообразования стали, раскисленной с применением комплексных сплавов	150
<b>Тореханова М.Т., Канаева С.Д.</b> Азоттық кеуектілік және оны азоты бар атмосферада доғалық балқыту шарттарында ескеру	154	<b>Тореханова М.Т., Канаева С.Д.</b> Азотистая пористость и способы ее предупреждения в условиях дуговой наплавки в азотсодержащей атмосфере	154
<b>Тұрлыбекұлы А., Плотников С.В., Шаймарданова Б.Х., Ердыбаева Н.К., Шушкевич Л.В., Кимосов Р.Н., Акатаев К., Шаймардан Е., Қантай Н.</b> Кальцийдің микробелшекті гидроксиапатитін синтездеу	160	<b>Тұрлыбекұлы А., Плотников С.В., Шаймарданова Б.Х., Ердыбаева Н.К., Шушкевич Л.В., Кимосов Р.Н., Акатаев К., Шаймардан Е., Қантай Н.</b> Синтезирование микродисперсного гидроксиапатита кальция	160
<hr/>			
<b>ЭКОЛОГИЯ</b>			
<b>Мынбаева Б.Н., Оралбекова Ж.О., Исадаева Д.Н., Мұхтарова Ш.Ө., Жукбаева Т.К., Ҳасенова З.Т.</b> Алматы қ. атмосфералық ауасының экологиялық мониторингісі үшін болжамды модельдерді зерттеу	166	<b>Мынбаева Б.Н., Оралбекова Ж.О., Исадаева Д.Н., Мұхтарова Ш.Ө., Жукбаева Т.К., Ҳасенова З.Т.</b> Исследование прогнозных моделей для экологического мониторинга атмосферного воздуха г. Алматы	166
<hr/>			
<b>МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА, ХИМИЯ, ИНФОРМАТИКА</b>			
<b>Темірбеков А.Н., Урмашев Б.А.</b> Үшөлшемді атмосфера қабатының тендеулері үшін айрымдық схемаларды зерттеу	169	<b>Темирбеков А.Н., Урмашев Б.А.</b> Исследование разностных схем для трехмерных уравнений пограничного слоя атмосферы	169
<hr/>			
<b>ЭСКЕРИ ІС ЖӘНЕ ҚАУІПСІЗДІК</b>			
<b>Гроскоп Р.В.</b> БТР-80 бронетранспортерінің отын жүйесіне атмосфералық ауаның түсү процесін негіздеу	179	<b>Гроскоп Р.В.</b> Обоснование процесса попадания атмосферного воздуха в топливную систему бронетранспортера БТР-80	179
<hr/>			
<b>МЕРЕЙТОЙ ИЕЛЕРІ</b>			
	184	<b>НАШИ ЮБИЛЯРЫ</b>	184
<hr/>			

**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  
Издается с 1998 г.

Зарегистрирован Министерством информации и общественного согласия  
Республики Казахстан. Свидетельство № 145-ж от 27 февраля 1998 г.

Редакторы - Редактор  
С.Е. Волкова, Г.Т. Жантасова

Корректоры - Корректоры  
С.Е. Волкова, Г.Т. Жантасова

Руководитель издательства О.Н. Николаенко

Материалдарды компьютерде төрғен  
және беттеген

Набор, верстка,  
изготовление оригинал-макета  
С.Е. Волкова

Басыға 20.06.2018 қол қойылды.  
Форматы 84×108/16. Офсет қағазы.  
Көлемі: 18,11 есептік баспа табагы, 20,12 шартты баспа табагы  
Таралымы 350 дана. № 781-2018 тапсырыс.  
Бағасы келісім бойынша.

Подписано в печать 20.06.2018.  
Формат 84×108/16. Бумага офсетная.  
Объем: 18,11 уч.-изд. л., 20,12 усл. печ. л.  
Тираж 350 экз. Заказ № 781-2018.  
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