

зарегистрирован Министерством культуры и информации Республики Казахстан 04.04.2013 г.
Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания 13508-Ж.

Издается с января 2003 г.

Приказом №290 от 26.06.2022 г. Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК внесен в перечень научных изданий, рекомендуемых для публикации основных результатов научной деятельности.

В журнале публикуются материалы, отражающие состояние и перспективы развития геологии, горного дела и металлургии не только в нашей стране, но и за рубежом. Журнал освещает проблемы охраны труда и техники безопасности, экономики, подготовки кадров и других вопросов, связанных с горно-металлургическим комплексом. В журнале представлены статьи прикладного характера, результаты фундаментальных исследований, служащие основой для новых технических разработок.

При перепечатке материалов ссылка на Горный журнал Казахстана обязательна. Ответственность за достоверность сведений в публикуемых статьях и рекламных материалах несут авторы и рекламодатели. Мнение редакции не всегда может совпадать с мнением авторов.

Адрес редакции:
050026, г. Алматы, ул. Карасай батыра, 146, оф. 401,
+7 (747) 343-15-02
minmag.kz

Представитель журнала на специализированных мероприятиях – Общество с ограниченной ответственностью «Маркетинг от Тимченко»

Представители журнала:

Республика Узбекистан –
ШЕРЗОД ВАФО-ОГЛЫ КАРИМОВ
karimov20-13@mail.ru

Российская Федерация, Москва –
ИРИНА ЯРОПОЛКОВНА ШВЕЦ
shvetsirina@yandex.ru

Российская Федерация, Сибирский регион –
ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ ШАПОШНИК
shaposhnikyury@mail.ru

Периодичность 12 номеров в год

Тираж 1500 экземпляров

ISSN 2227-4766

Подписной индекс 75807 в каталогах:
АО «Казпочта»,
ТОО «Агентство «Евразия пресс»

Подписано в печать 30.07.2024 г.

Отпечатано:
«Print House Geron»
ул. Сатпаева 30А/3, офис 124
тел: + 7 727 250-47-40,
+ 7 727 398-94-59,
факс: + 7 727 250-47-39

УЧРЕДИТЕЛЬ И СОБСТВЕННИК
ТОО «Научно-производственное
предприятие «ИНТЕРРИН»



Главный редактор

М.Ж. БИТИМБАЕВ, mbitimbaev@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Л.А. КРУПНИК, leonkr38@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Х.А. ЮСУПОВ, yusupov_kh@mail.ru

Ответственный редактор

Т.С. ДОЛИНА, Tatyana.Dolina@interrin.kz

Редакционная коллегия:

Fathi Habashi (Canada), Dr. techn. [Vienna], Dr.h.c. [St. Petersburg], Dr.h.c. [National Tech Univ, Lima], Dr.h.c. [San Marcos Univ, Lima]

Fidelis Tawiah Suorineni, PhD,
Professor of Mining Engineering

М.Б. Барменшинова, канд. техн. наук

А.А. Бекботаева, PhD

В.А. Белин (Россия), д-р техн. наук, профессор

В.И. Бондаренко (Украина), д-р техн. наук, профессор

Н.С. Буктуков, д-р техн. наук, профессор

А.Е. Воробьев (Россия), д-р техн. наук, профессор

С.Ж. Галиев, д-р техн. наук, профессор

В.Ф. Демин, д-р техн. наук

А.И. Едильбаев, д-р техн. наук

Б.О. Жанибеков (Узбекистан), д-р философии
геол.-мин. наук, доцент

Д.Р. Каплунов (Россия), д-р техн. наук, профессор

Ш.В. Каримов (Узбекистан), PhD

В.Л. Лось, д-р геол.-минерал. наук, профессор

С.К. Молдабаев, д-р техн. наук, профессор

У.Ф. Насиров (Узбекистан), д-р техн. наук, профессор

В.И. Нифадьев (Кыргызстан), д-р техн. наук, профессор

М.Б. Нурпеисова, д-р техн. наук, профессор

Е.Н. Ольшанский, член-корреспондент МАИН

Е.А. Петров (Россия), д-р техн. наук, профессор

Б.Т. Ратов, д-р техн. наук, профессор

К.Б. Рысбеков, канд. техн. наук, профессор

И.Н. Столповских, д-р техн. наук, профессор

П.Г. Тамбиев, канд. техн. наук

Ш.Н. Туробов (Узбекистан), PhD

О.Г. Хайитов (Узбекистан), д-р геол.-минерал. наук,
профессор

Р.А. Хамидов (Узбекистан), PhD

А.Н. Шодиев (Узбекистан), д-р техн. наук

Т.А. Чепуштанова, PhD

® – статья на правах рекламы

① – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3 Колонка главного редактора
- Новости ESAB в Центральной Азии
- 4 Аппарат Warrior Edge 500 DX от ЭСАБ – новый уровень качества и контроля сварки
- 5 Первый семинар по сварочному оборудованию ЭСАБ прошел в Баку
- Забора о будущем сварщика – маска Sentinel A60 от ЭСАБ
- 6 Электроды под защитой – технология вакуумной упаковки VacPac
- Геомеханика
- 7 *Н.Б. Бахтыбаев, Р.Х. Альжанов, Э.Р. Халикова, *С.С. Ефремова*
Анализ геомеханических условий рудника Жомарт 2
- Гидрогеология
- 16 **V.S. Rakhimova, D.S. Sapargaliyev, E.V. Sotnikov, T.A. Rakhimov*
Numerical modeling of groundwater flow and alluvial floodplains nitrate transport geocological aspects of Aktobe region, Kazakhstan
- Горные машины
- 25 *Б.С. Бейсенов, Р.З. Тагауова, С.А. Бортебаев, *Е.Е. Сарыбаев*
Исследование силовых и раздвижных параметров трехкамерных сильфонных пневмобаллонов
- Обогащение полезных ископаемых
- 32 *А.Р. Мамбеталиева, *Г.К. Макашева, Т.Ш. Тусупбекова, А.О. Музинов*
Исследование влияния теплового кондиционирования на технологические показатели обогащения медных хвостов
- 39 *Г.Е. Аскарлова, *К.К. Мамырбаева, М.Р. Шаутинов, А.Б. Бегалинов*
Қиын байытылатын алтын құрамды кенді сатылы гравитациялық байытуды зерттеу
- Охрана труда и безопасность в горной промышленности
- 46 *М.К. Есенов, *Л. И. Раматуллаева, А.А. Волненко, Г.К. Ивахнюк*
Барабандық аппараттардың жұмыс параметрлерінің атмосфераға шаң мен ластаушы заттардың шығарылуына әсерін талдау
- 52 *Б.Т. Уахитова, М.М. Тайжигитова, *Г.С. Нурбосынова, Р.Р. Саитғалиев*
Анализ травматизма в горно-металлургической отрасли Актюбинского региона в период с 2013-2022 гг.
- 61 *А. М. Курманов, А.Б. Бекмагамбетов, *Л.И. Едильбаева, А.Е. Сабидуллина*
Анализ международного опыта по оценке профессионального риска на объектах горнодобывающей отрасли
- 68 Абдрахман Бегалинович Бегалинов (10.10.1946-15.07.2024)
- 72 Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

*Дорогие читатели!
Уважаемые коллеги!*

Июль и август – значимые месяцы каждого года для нас с вами, потому что в эти месяцы страна чествует тех, кто постоянно находится в центре внимания нашего издания. Горняки (шахтеры), обогатители, металлурги – это люди, которые вместе с геологами, трудясь на производстве, проектируя новые объекты, проводя научно-исследовательские работы, создают фундамент социального благополучия страны и ее народа. Наряду с агрокультурой и строительным делом горно-металлургический комплекс является основой, давшей старт человеческой цивилизации, способной продолжать свой путь и сегодня в будущее только благодаря развитию этой триады.

Все компоненты человеческого общества, порожденные его сознанием, мыслительными способностями и творческой деятельностью, возникли внутри здания, стоящего и растущего устойчиво, потому что существует Земля, которая щедро одаривает нас своими плодами.

Но наступил момент, когда наши предки в недалеком прошлом переступили порог, определявший допустимые нормы взаимоотношений с природной средой и формат техногенных взаимодействий на нее. Человек, возмнив себя «Царем природы», забыл о том, что он обязан каждодневно заботиться о сохранении жизнеспособности среды своего обитания. Мир опомнился, и мы – специалисты – пропускаем через себя все те технологические, организационные и законодательные решения, начиная с конца XX века и по сегодняшний день, которые направлены на создание управляемой системы охраны окружающей среды, создания и внедрения экономически эффективных и безопасных условий возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и декарбонизации.

И эта деятельность одновременно должна сопровождаться полным освоением содержимого недр без потерь при добыче и обогатительном переделе.

Задача непростая, учитывая и великое многообразие добываемого минерального сырья, горно-геологические условия их залегания, характеристики технологической металлургии.

Но решения возможны, и они займут свое место в течение последующих 5-10 лет, потому что обстановка с минерально-сырьевой базой во всем мире, как и в Казахстане, оставляет желать лучшего, а потребность во всех его видах растет, причем быстрее, чем рост населения.

Мы празднуем в июле День металлурга, и наши самые лучшие пожелания «хозяевам огненных профессий», которые своим трудом создают окружающему миру условия жить лучше, безопаснее и уверенней чувствовать себя в нем.

Накануне нашего праздника в Институте металлургии и обогащения в Алматы принято решение о создании научно-исследовательской лаборатории по редким и редкоземельным металлам. Это ответственное и важное решение, которое должно сыграть свою роль по созданию в нашей стране своей промышленности по производству значительного перечня востребованных ныне металлов. Месторождения эти в нашем государстве есть, а производство отсутствует.

И такие шаги предпринимаются по всему спектру развития горно-металлургического комплекса, поэтому нам предстоит и будущие праздники в обстановке достижений и успехов!

АППАРАТ WARRIOR EDGE 500 DX ОТ ЭСАБ – НОВЫЙ УРОВЕНЬ КАЧЕСТВА И КОНТРОЛЯ СВАРКИ

Каким должен быть современный сварочный аппарат? Надежным, мощным, функциональным и безопасным. Всем этим запросам отвечает Warrior Edge 500 от мирового производителя сварочного оборудования и профессиональной экипировки ЭСАБ.

Этот функциональный многопроцессорный инвертор предназначен для изготовления различных сварных конструкций, производства резервуаров и широкого спектра других работ. Warrior EDGE 500 DX отлично справляется с полуавтоматической (MIG/MAG), ручной дуговой (ММА), аргодуговой (TIG) сваркой и воздушно-дуговой строжкой. Еще одним преимуществом модели является возможность подключения к онлайн-приложениям InduSuite – WeldCloud Fleet и WeldCloud Productivity.

Оборудование поддерживает несколько режимов, которые позволяют повысить эффективность MIG/MAG сварки. Режим Pulse обеспечивает высокую стабильность переноса металла и уменьшает разбрызгивание – за 1 импульс отрывается 1 капля. ROOT помогает сочетать высокую скорость со стабильным качеством. При помощи сфокусированной дуги для сварки корневых швов можно получить хороший результат и не использовать дополнительный кабель контроля напряжения. Режим SPEED фокусирует дугу с улучшенным контролем при более высоких скоростях и со снижением количества брызг. Производится глубокое проплавление в угловых швах, а также присутствует возможность обработать более узкую разделку. Режим THIN снижает разбрызгивание и помогает уменьшить деформацию тонких листов.



Благодаря удобному гибриднему интерфейсу обучение сварщиков работе с данной техникой не занимает много времени. Понятная внешняя панель управления Warrior EDGE 500 DX подходит для повседневной настройки, а внутренний дисплей предназначен для выбора синергетических линий, сохранения программ, контроля расхода газа. Также есть возможность установить различный уровень доступа к оборудованию с помощью NFT карт. Это могут быть: ограничение доступа для неавторизованных пользователей, установка режимов и лимитов для регулировки соблюдения процедур сварки, предоставление полного доступа к настройкам для администратора.

Еще одно неоспоримое достоинство оборудования – электронная система контроля расхода газа TrueFlow. Она снижает перерасход за счет соблюдения заданных параметров при старте и редуцирования возросшего давления в шлангах. Также технолог или инженер может установить и сохранить необходимый расход газа в программе вместе со скоростью подачи проволоки и напряжением. Сварщики при работе на тяжелых и низких режимах не будут тратить время на перенастройку редуктора, а предприятие значительно сократит затраты на защитный газ.

Warrior EDGE 500 DX также оснащен встроенным блоком охлаждения мощностью 1,5 кВт. А подающий механизм Robost Feed EDGE имеет встроенную систему защиты SpoolSafe, которая позволяет не пропускать пыль и грязь внутрь аппарата.

«Мы ценим, что уже более 15 лет компании Казахстана и Центральной Азии выбирают нашу продукцию. С каждым годом оборудование для сварки и резки становится все более технологичным, эргономичным и простым в использовании. Такая техника помогает улучшить показатели производства и уровень безопасности специалистов», – сообщила Екатерина Татарина, директор ТОО ЭСАБ Казахстан, руководитель региона ЭСАБ Центральная Азия.

ПЕРВЫЙ СЕМИНАР ПО СВАРОЧНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ ЭСАБ ПРОШЕЛ В БАКУ

В столице Азербайджана состоялся первый официальный Технологический семинар от международного производителя сварочного оборудования ЭСАБ. Мероприятие было организовано при поддержке официального дистрибьютора компании V.I.Profit на площадке Бакинского Государственного центра профессионального образования промышленности и инноваций.

Участниками семинара стали представители 20 предприятий, которые уже успешно сотрудничают с ЭСАБ, потенциальные клиенты, а также студенты профильных колледжей. Они смогли наглядно оценить различные виды сварочных аппаратов, инновационные решения и ознакомиться с технологиями эффективной сварки.

«Наш центр сотрудничает с ведущими брендами, такими как Huawei, Mitsubishi, Toyota Azerbaijan. Теперь мы познакомились с продукцией глобального бренда ЭСАБ. Семинар способствовал внедрению современных и безопасных сварочных практик на предприятия. Также это был ценный опыт для начинающих специалистов», – сказала Асмар Бахышова, заместитель директора Центра карьеры Бакинского государственного центра профессионального образования, промышленности и инноваций.

Екатерина Татарнинова, руководитель ЭСАБ по региону Центральная Азия, также поделилась впечатлениями о Технологическом семинаре:

«Вместе с коллегами из V.I.Profit и образовательного центра мы были рады продемонстрировать комплексные решения для сварочных работ от ЭСАБ. Теперь, когда мы увидели в Баку живой интерес к нашей продукции, будем

стараться проводить такие мероприятия чаще и презентовать новейшие решения в сфере сварки и резки».

«Торговый дом V.I.Profit» – стратегический партнер ЭСАБ – предлагает разнообразное сварочное оборудование, материалы, аксессуары, средства защиты, а также услуги по диагностике и ремонту. У компании есть свой сервисный центр ЭСАБ.



ЗАБОТА О БУДУЩЕМ СВАРЩИКА – МАСКА SENTINEL A60 ОТ ЭСАБ

Компания ЭСАБ – мировой производитель оборудования и расходных материалов для сварки и резки металлов предлагает широкую линейку высококачественных средств индивидуальной защиты (СИЗ). Одной из передовых разработок является сварочная маска Sentinel A60, оснащенная модернизированным фильтром автоматического затемнения и защитой от излучения дуги в видимом спектре, а также ультрафиолета. В такой маске сварщик может безопасно проводить работы любой сложности и существенно снизить нагрузку на зрение.

Светофильтр маски Sentinel A60 размером 118 x 71 мм с новейшей технологией управления освещением широкого спектра OptCS™ обеспечивает панорамный обзор места сварки. Оптические характеристики светофильтра соответствуют 1/1/1 по стандарту EN 379 и гарантируют четкость под любым углом, без искажений. Технология TrueColor второго поколения обеспечивает натуральную



цветопередачу без зеленого оттенка. Маска обладает статическим затемнением 3 DIN для ясного обзора при зачистных работах и регулируемой степенью затемнения от 5 до 13 DIN при сварке или резке в зависимости от силы тока и процесса. Точный контроль затемнения достигается благодаря цифровой регулировке с шагом 0,5 DIN.

Корпус маски A60 узнаваемого дизайна Sentinel обладает рядом преимуществ. Пятиточечное оголовье Halo™ обеспечивает равномерное распределение нагрузки, максимальный комфорт и баланс во время работы. Продвинутая и понятная панель управления сохраняет в памяти 9 программ с различными настройками. С внешней стороны

удобно расположена кнопка активации режима работы с угловой шлифовальной машиной, благодаря которой сварщик может работать, не снимая маски и перчаток.

«Забота о безопасности сварщика лежит в основе философии ЭСАБ. Мы внедряем инновационные технологии как при создании современного оборудования для сварки и резки, так и при разработке средств индивидуальной защиты. Маска Sentinel A60 решает одну из основных задач – бережет зрение специалиста и надежно защищает от других производственных рисков», – рассказала Екатерина Татарина, директор ТОО ЭСАБ Казахстан, руководитель региона ЭСАБ Центральная Азия.

ЭЛЕКТРОДЫ ПОД ЗАЩИТОЙ – ТЕХНОЛОГИЯ ВАКУУМНОЙ УПАКОВКИ VACPAC

Сварочные работы невозможно хорошо провести без качественных электродов. Однако при хранении расходных материалов могут возникнуть сложности. Например, при повышенной влажности может повредиться обмазка электрода, что приведет к порообразованию и появлению различных дефектов сварного соединения.

Мировой производитель сварочного оборудования ЭСАБ разработал электроды в вакуумных упаковках VacPac – современное решение, которое позволяет сокращать затраты и время на подготовку к работе. Их можно применять без предварительной прокалки и хранения в сушильных шкафах или термопечалках. Материалы отлично подойдут для сварки при повышенной влажности или при работе на открытом воздухе.

На этапе изготовления электроды упаковываются в пластиковую коробку, вакуумируются и запаиваются в многослойную воздухонепроницаемую алюминиевую фольгу. Готовый продукт помещается в коробку из плотного гофрокартона, которая поможет избежать повреждений при транспортировке. Потребитель получает чистый, качественный и



простой в хранении материал с практически неограниченным сроком службы. Размер VacPac рассчитан таким образом, чтобы после вскрытия упаковки сварщик использовал электрод за одну рабочую смену, поэтому в большинстве случаев дополнительная прокалка материала не требуется.

«ЭСАБ предлагает рынку Казахстана и Центральной Азии технологичный сварочный материал, который подойдет для работы в любых условиях, прост в хранении и использовании. Электроды VacPac можно применять непосредственно после вскрытия упаковки и не думать о затратах на прокалку и сушильное оборудование. Это одно из решений, которые выводят работу сварщика на новый технологический уровень и устраняют сразу несколько рабочих проблем», – отметила Екатерина Татарина, директор ТОО ЭСАБ Казахстан, руководитель региона ЭСАБ Центральная Азия.

Ведущий мировой производитель ЭСАБ представлен на рынке Казахстана более 15 лет. Компания предлагает широкий ассортимент оборудования для сварки и резки металлов, расходных материалов, средств индивидуальной защиты и аксессуаров.



Код МРНТИ 52.13.05

Н.Б. Бахтыбаев, Р.Х. Альжанов, Э.Р. Халикова, *С.С. Ефремова
Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет
им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

АНАЛИЗ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РУДНИКА ЖОМАРТ 2

Аннотация. Статья посвящена изучению механических свойств руды и вмещающих пород, начиная со стадии разведки, рудника Жомарт II. Все накопленные данные проанализированы и сведены в таблицу. Представлены определения природного напряженного состояния массива и нарушение массива разломами, в связи с чем приведены условия целесообразности заложения горных выработок при проектировании горных работ. В статье отражены сведения о нарушении массива трещинами, а именно количество и процентное содержание крутопадающих, наклонных и пологих трещин; создана 3D геомеханическая блочная модель трещиноватости массива для прогноза нарушения массива руды и непосредственной кровли. Произведена оценка жесткости руды и вмещающей толщи пород для расчетов нагруженности целиков и процессов перераспределения горного давления при повторной разработке. Оценка сделана по скоростям упругих продольных и поперечных волн.

Ключевые слова: механические свойства руды, прочность, упругость, напряженное состояние массива, нарушение массива, трещиноватость массива, жесткость руды.

Жомарт 2 кенішінің геомеханикалық жағдайларын талдау

Андатпа. Мақала Жомарт II кенішінің барлау кезеңінен бастап кеннің және негізгі жыныстардың механикалық қасиеттерін зерттеуге арналған. Барлық жинақталған деректер талданады және кестеге келтіріледі. Массивтің табиғи кернеу күйінің анықтамалары және массивтің ақаулармен бұзылуы ұсынылған, осыған байланысты тау-кен жұмыстарын жобалау кезінде тау-кен қазбаларын салудың орындылығы шарттары келтірілген. Мақалада жарықтар массивінің бұзылуы туралы ақпарат, атап айтқанда тік құлаған, қолбеу және жұмсақ жарықтардың саны мен пайызы көрсетілген; кен массивінің және тікелей шатырдың бұзылуын болжау үшін массивтің жарылуының 3D геомеханикалық блок моделі жасалды. Кеннің қаттылығын және тау жыныстарының сыйымдылығын бағалау, қайта игеру кезінде тау қысымын қайта бөлу процестері мен бүтіндердің жүктемесін есептеу үшін жүргізілді. Бағалау серпімді бойлық және көлденең толқындардың жылдамдығымен жасалады.

Түйінді сөздер: кендердің механикалық қасиеттері, беріктігі, серпімділігі, массивтің кернеу күйі, массивтің бұзылуы, массивтің жарылуы, кендердің қаттылығы.

Analysis of the geomechanical conditions of the Jomart 2 mine

Abstract. The article is devoted to the study of the mechanical properties of ore and host rocks, starting from the exploration stage of the Jomart II mine. All accumulated data has been analyzed and tabulated. Definitions of the natural stress state of the massif and the disturbance of the massif by faults are presented, in connection with which the conditions for the expediency of laying mining workings in the design of mining operations are given. The article reflects information about the disturbance of the massif by cracks, namely the number and percentage of steeply falling, inclined and shallow cracks; A 3D geomechanical block model of the fracturing of the massif has been created to predict the disturbance of the ore massif and the immediate roof. The hardness of the ore and the host rock thickness was estimated to calculate the loading of the pillars and the processes of redistribution of rock pressure during re-mining. The estimation is based on the velocities of elastic longitudinal and transverse waves.

Key words: mechanical properties of the ore, strength, elasticity, stress state of the massif, disturbance of the massif, fracturing of the massif, hardness of the ore.

Введение

Механические свойства руды и вмещающих пород, в ненарушенных образцах, изучались КарПТИ в 1990 г., на стадии разведки месторождения [1]. ИГД им. Кунаева в 2005 г. во время строительства рудника. ООО «Подземгазпром» в 2006-07 гг. в начальный период разработ-

ки. ТОО «Центргеоаналит», институтом ВНИИцветмет и Горным институтом УрО РАН в 2013 г. на стадии до-разведки месторождения в поле Жомарт II [2]. Все накопленные данные сведены в единые статистики, проанализированы, сводные результаты анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1

Механические свойства руды и пород

Кесте 1

Кендер мен тау жыныстарының механикалық қасиеттері

Table 1

Mechanical properties of ore and rocks

	Закон распределения	Количество значений	Среднее значение	Стандартное отклонение	Коэфф. вариации
Прочность серых песчаников (руды) при сжатии, МПа	нормальный	96	120	31	26%
Прочность серых песчаников (руды) при растяжении, МПа	нормальный	159	8.8	3.4	39%
Модуль упругости всех типов пород, ГПа	логнормальный	120	27	13	48%
Коэффициент Пуассона всех типов пород, доли ед.	нормальный	229	0.20	0.05	25%

Гистограммы механических свойств представлены на рис. 1. Они показывают законы распределения механических свойств, пределы и степень их изменчивости. Высокие коэффициенты вариации характеризуют сильную прирдную изменчивость механических свойств.

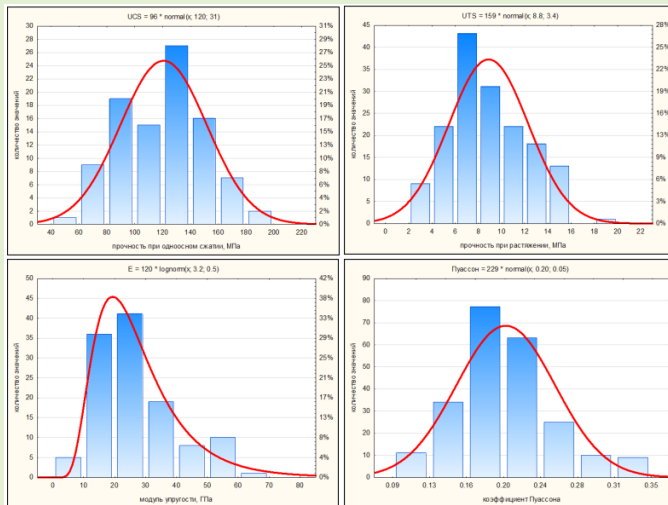


Рис. 1. Статистические распределения механических свойств руды и пород.

Сурет 1. Кен мен тау жыныстарының механикалық қасиеттерінің статистикалық таралуы.

Figure 1. Statistical distributions of mechanical properties of ore and rocks.

Методы исследований

В первую очередь важны свойства серого рудного песчаника, т.к. именно им сложены все целики. По результатам исследований [1] у серого рудного песчаника: • соотношение прочностей при растяжении и сжатии (UTS/UCS) составляет 7% (меньше критериального значения 10%); • доля упругих деформаций в предельном состоянии составляет 79% от полных (упругих и неупругих) деформаций (больше критериального уровня в 70%); • модуль спада M при разрушении в 4,3 раза больше модуля упругости E (больше критериального значения $M/E > 1$).

Это означает, что руда является упругой, способной к накоплению потенциальной энергии упругих деформаций, с хрупким характером разрушения. Т.е. по трем критериям серый песчаник является склонным к горным ударам.

По данным [1] длительная прочность серых песчаников на сжатие σ_t составляет 87% от мгновенной прочности σ_0 (рис. 2). Это очень важный параметр, который означает следующее. Если действующие напряжения не достигают величины $0,87\sigma_0$, то в руде не происходит образования новых трещин. Поэтому такие напряжения образец (целик) может выдерживать бесконечно долго. Если действующие напряжения превышают величину $0,87\sigma_0$, то в руде происходит образование новых трещин (сопровождается треском) и по истечению некоторого времени образец (целик) будет разрушен.

Соотношение мгновенной и длительной прочности $\sigma_0/\sigma_t = 1/0,87 = 1,15$ представляет собой граничный коэффициент запаса прочности $n_{gp} = 1,15$.

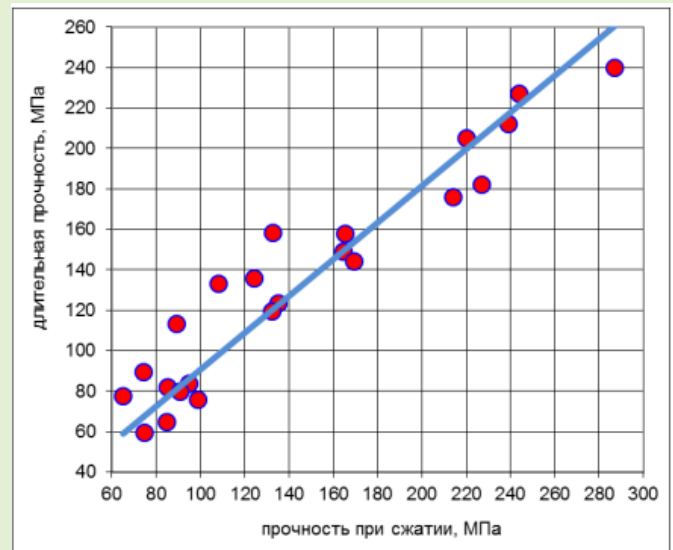


Рис. 2. Соотношение мгновенной и длительной прочности серых песчаников.

Сурет 2. Сұр құмтастардың лездік және ұзақ мерзімді беріктігінің арақатынасы.

Figure 2. The ratio of instant and long-term strength of gray sandstones.

Если фактический запас прочности целика меньше граничного 1,15, то со временем он будет раздавлен. Таким запасом прочности должны обладать сигнальные целики, чтобы горное давление по истечению некоторого времени их раздавило.

Если фактический запас прочности целика больше граничного значения 1,15, то такой целик может сохранять устойчивость достаточно долгое (теоретически – бесконечно долго) время.

Рудная минерализация в Жаман-Айбате локализуется, преимущественно, в слоях серых песчаников, гравелитов, конгломератов. Промышленное оруденение концентрируется только в их грубозернистых разностях. Тонкозернистые песчаники имеют бедную минерализацию. Вмещающие породы сложены разномерными песчаниками (70-80%), гравелитами (5-10%), конгломератами (5-10%), алевролитами (5-10%) и аргиллитами (2-3%).

Из всех типов пород наиболее прочными являются серые песчаники. Их коэффициент крепости по Протодьякову f , определенный методом дробления, имеет значения от 6 до 13 (среднее $f = 9$). Прочность при сжатии бурых мелкозернистых песчаников находится в пределах 30÷160 МПа, конгломератов: 85÷140 МПа. Наименьшей прочностью обладают алевролиты и аргиллиты: 10÷90 МПа; кроме того, они подвержены размоканию. При обводнении теряют 40÷60% прочности. Серые песчаники и конгломераты не подвержены размоканию. Руды и породы на руднике Жомарт по сравнению с жезказганскими в целом имеют меньшую крепость (в 1,5÷2 раза). Их сопоставление приведено в табл. 2.

Различия в модулях упругости разных типов пород находятся в пределах их естественной изменчивости, т.е. статистически не значимо. Поэтому по упругим свойствам все типы пород сведены в одну генеральную сово-

Сопоставление крепостей пород

Таблица 2

Тұқым бекіністерін салыстыру

Кесте 2

Comparison of rock fortresses

Table 2

Жезказган		Жомарт		соотношение
серые песчаники	$f = 13 \div 16$	серые среднезернистые песчаники	$f = 6 \div 9$	1,9 ÷ 2,1
красноцветы	$f = 7 \div 9$	алевролиты	$f = 4 \div 6$	1,5 ÷ 1,8

купность со средними свойствами. Диапазон изменения модуля упругости пород продуктивной толщи достаточно широк и составляет от 20 до 40 ГПа (коэффициент вариации 48%). Средний коэффициент Пуассона равен 0,20 со среднеквадратичным отклонением 0,05 (коэффициент вариации 25%). Средняя плотность пород налегающей толщи по данным составляет $\gamma = 2,7 \text{ т/м}^3$.

Природное напряженное состояние массива

Определения напряжений на руднике Жомарт проводились:

- в 2004 г. геомеханиками Казахмыса на стадии вскрытия месторождения методом дискования керна [2];
- в 2013 г. Горным институтом УрО РАН [6] методом щелевой разгрузки по методике в районе ствола Вентиляционный 1 в штреках между панелями 64-65 на глубине $H = 650 \text{ м}$. При $\gamma = 2,7 \text{ т/м}^3$ гравитационное давление налегающей толщи составляет $\gamma H = 17,5 \text{ МПа}$.

По результатам измерений максимальные тектонические напряжения σ_1 действуют вкrest длинной стороны залежи с азимутом $156^\circ \Leftrightarrow 336^\circ$. Коэффициент бокового давления $\lambda_1 = \sigma_1 / \gamma H = 1,6$. Минимальные главные напряжения σ_3 действуют в вдоль длинной стороны залежи с азимутом $66^\circ \Leftrightarrow 246^\circ$. Коэффициент бокового давления $\lambda_3 = \sigma_3 / \gamma H = 0,9$. Вертикальное гравитационное давление налегающей толщи по величине является промежуточным главным напряжением $\sigma_2 = \gamma H$.

В 2018 г. геомеханиками Казахмыса и SRK Consulting направление действия тектонических напряжений скорректировано на основе тектонофизического анализа и анализа устойчивости 40 км пройденных выработок [3, 4]. По последним данным максимальные тектонические напряжения σ_1 действуют с азимутом $120^\circ \Leftrightarrow 300^\circ$ (рис. 3).

Нарушенность массива разломами

Горные условия рудника Жомарт в 4 раза тяжелее, чем в Жезказгане из-за большей глубины (в 2 раза) и меньшей крепости пород (в 2 раза). Поэтому проходка выработок очень часто (в ~4 раза чаще, чем в Жезказгане) осложняется (замедляется, удорожается) проявлениями горного давления – вывалами горной массы. Их основные причины:

- пересечение зон тектонических нарушений, по которым в горные выработки может поступать вода из вышележащих водоносных горизонтов; сероцветные алевролиты и аргиллиты при обводнении теряют прочность и устойчивость;

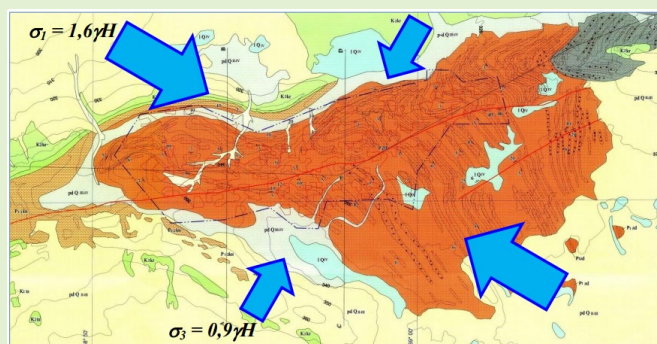


Рис. 3. Природное напряженное состояние массива месторождения Жаман Айбат по результатам натуральных измерений методом щелевой разгрузки [3] и тектонофизического анализа [4].

Сурет 3. Жаман Айбат кен орны массивінің табиғи кернеулі жай-күйі жарықшақты түсіру әдісімен заттай өлшеу нәтижелері бойынша [3] және тектонофизикалық талдау [4].

Figure 3. The natural stress state of the Zhaman Aybat deposit massif based on the results of field measurements by the method of slit unloading [3] and tectonophysical analysis [4].

- раздавливание пород в кровле выработок тектоническими напряжениями.

Поэтому при проектировании горных работ в поле рудника Жомарт 2 целесообразно не закладывать выработки: 1) по тектоническим разломам; 2) вкrest направления действия в массиве тектонических напряжений.

Чтобы пользоваться первым правилом и проектировать выработки вне тектонических разломов или их пересечение под большими (в идеале прямыми) углами, необходимо иметь прогнозные каркасы тектонических разломов. Чтобы соблюдать второе правило, надо знать направление действия тектонических напряжений: $\sigma_1 = 1,6 \gamma H$; $\sigma_3 = 0,9 \gamma H$.

По базе геомеханических данных из 399 разведочных скважин (98,7 км колонкового бурения), пробуренных компанией Казахмыс Эксплорэйшн в 2010-12 гг., на площади рудника Жомарт 2 структурными геологами компании в программе Leapfrog построена 3D блочная геомеханическая модель массива [4], включающая каркасы прогнозируемых тектонических разломов (рис. 4).

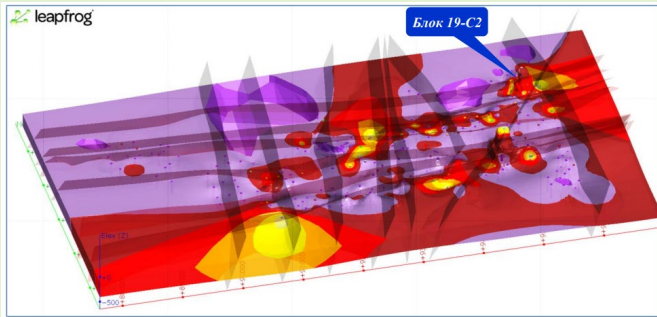


Рис. 4. Каркасы прогнозируемых тектонических нарушений в поле рудника Жомарт 2, построенные по базе данных геологической разведки с геомеханическим описанием керна.

Сурет 4. Жомарт 2 кенішіндегі болжамды тектоникалық бұзылулардың нәсілдері, геомеханикалық сипаттамасымен геологиялық барлау деректері бойынша салынған.

Figure 4. Frameworks of predicted tectonic disturbances in the field of the Jomart 2 mine, built using the database of geological exploration with a geomechanical description of the core.

Созданная геомеханическая модель массива с разломами в поле рудника Жомарт 2 передана в ГПИ для использования при проектировании.

Трещиноватость массива

По всем скважинам геологической доразведки велось геомеханическое описание керна с определением RQD и частоты трещин на 1 пог.м керна FF (Fracture Frequency = шт./м). Геомеханические параметры нарушенности массива трещинами определены почти по 32 тысячам интервалов.

Показатель нарушенности керна RQD – это отношение суммы длин кусков керна длиннее 10 см к общей длине керна. Высокие значения RQD означают низкую нарушенность массива, низкие значения – сильную нарушенность. Параметры RQD и FF являются обратными величинами: чем больше частота трещин FF, тем меньше RQD и наоборот.

При геомеханическом описании керна подсчитывалось количество трещин с углами наклона к оси керна в интервалах: $60^{\circ}\div 90^{\circ}$ (в Жомарте – это крутопадающие трещины, секущие керна вертикальных скважин под малыми углами); $30^{\circ}\div 60^{\circ}$ (наклонные); $0^{\circ}\div 30^{\circ}$ (пологие трещины напластования и Блок 19-С2 слоистости, секущие керна почти по нормали). В базе данных зафиксировано более 341 тыс. трещин. Их распределение по наклону к оси вертикального керна (углам падения Dip) показано на рис. 5. 80% от всех зарегистрированных трещин являются пологими поверхностями напластования и слоистости. Наклонных и крутопадающих трещин – примерно по 10%.

Бурение вертикальных разведочных скважин велось без ориентирования керна. Поэтому ориентировки систем трещин определены при ручном картировании подземных горных выработок.

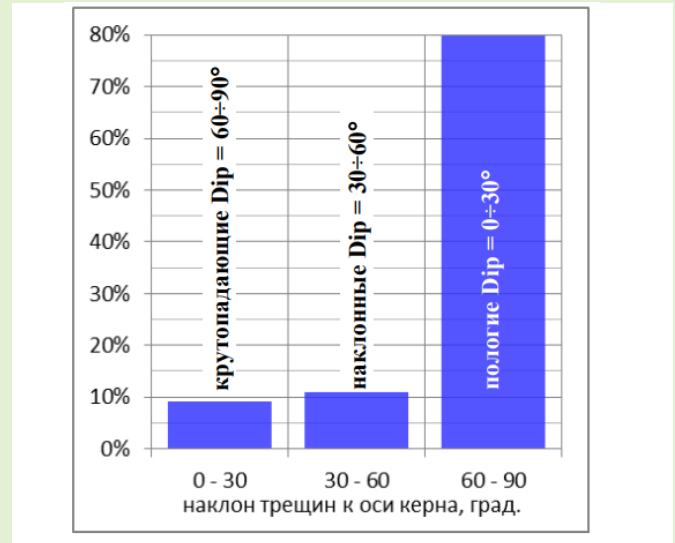


Рис. 5. Распределение трещин по углам падения Dip. Сурет 5. Dip түсу бұрыштары бойынша жарықтардың таралуы.

Figure 5. Crack distribution by Dip angle of incidence.

Съемка трещиноватости массива с помощью горного компаса проводилась в горизонтальных подготовительных выработках и целиках панелей 11,12, 40, 1 (в 2010 г.), 36 (в 2015 г.), 62, 63 (в 2016 г.), 76 в блоке 19-С2 (в 2017 г.). Сводная полярная диаграмма трещиноватости массива (joint = 89 шт.) приведена на рис. 6. На эту же диаграмму нанесены также элементы залегания задокументированных тектонических разломов (fault = 46 шт.).

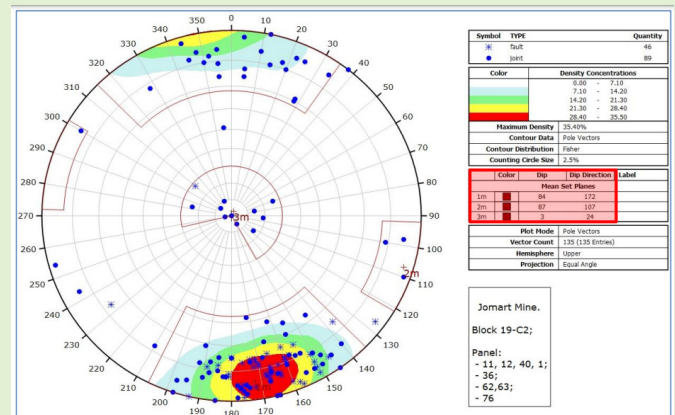


Рис. 6. Тектонические разломы (fault) и трещиноватость массива (joint).

Сурет 6. Тектоникалық ақаулар (fault) және массивтің жарылуы (joint).

Figure 6. Tectonic faults (fault) and fracturing of the massif (joint).

При картировании трещин в горизонтальных выработках «невидимыми» по принципу К. Терцаги оказываются пологие поверхности слоистости и напластования. Поэтому на диаграмме трещины данной системы (Set # 3 в центре диаграммы) представлены не очень явно, хотя по данным геомеханического описания керна

их удельный вес составляет 80% от общего количества трещин.

Из крутопадающих наиболее часто встречаются трещины субширотного простирания, падающие на север и юг (Set # 1). Аналогичное направление имеет и большинство вскрытых тектонических разломов. Это совпадает с направлением Азатской флексуры и Казыбекского глубинного разлома. Крутопадающие трещины субмеридионального простирания (Set # 2) встречаются гораздо реже. Средние значения углов (Dip) и азимутов падения (Dip Direction) основных систем трещин (Mean Set Planes) приведены на диаграмме в таблице, выделенной цветом [5-7].

Блочная модель трещиноватости массива

Для прогноза нарушенности массивов руды и непосредственной кровли создана 3D геомеханическая блочная модель массива с заполнением ее показателями RQD и FF. Пустая блочная модель массива создавалась с размерами материнского блока 50×50×1 м с коэффициентами субблокирования 12.5×12.5×0.5 м. Для интерполяции параметров трещиноватости между разведочными скважинами использован метод обратных расстояний (IDW), т.к. он позволяет выполнить оценку параметров массива горных пород с учетом взаимного расположения исходных данных. Данный метод является простым в применении и позволяет получить надежную оценку при ограниченном количестве данных.

Чтобы районировать по нарушенности массив рудной залежи 4-1, сделан субгоризонтальный разрез блочной модели RQD в поле рудника Жомарт 2 на отметках залегания руды (рис. 7).

Если в качестве постулата принять прочность руды в образце постоянной на всей площади залежи (т.к. у нас нет данных об ее изменчивости по площади), тогда распределение RQD по площади будет характеризовать прочность трещиноватого массива руды. Чем выше RQD, тем меньше нарушенность массива, тем крепче массив руды. И наоборот: на участках с низкими значениями RQD прочность массива руды понижена из-за сильной трещиноватости. Данную информацию можно будет использовать в дальнейшем при определении параметров систем разработки.

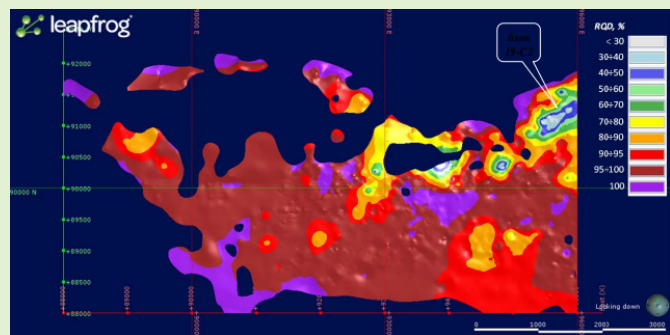


Рис. 7. Районирование шахтного поля Жомарт 2 по нарушенности (RQD) массива руды залежи 4-1.

Сурет 7. Жомарт 2 шахта алаңын 4-1 кенжар кен массивінің бұзылуы (RQD) бойынша аудандастыру.

Figure 7. Zoning of the Jomart 2 mine field by disturbance (RQD) of the ore deposit 4-1.

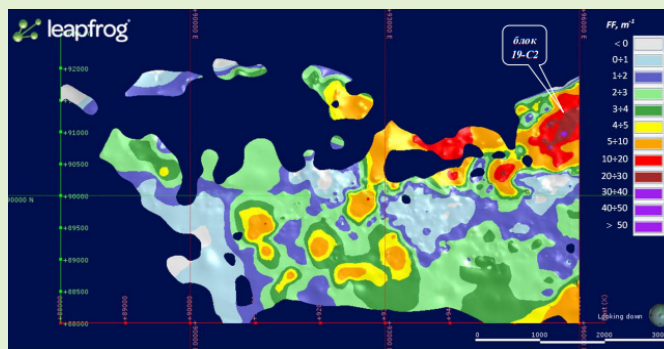


Рис. 8. Районирование шахтного поля Жомарт 2 по нарушенности (частота трещин FF) массива пород кровли залежи 4-1.

Сурет 8. Жомарт 2 шахта алаңын 4-1 депозиттік шатыр жыныстары массивінің бұзылуы (FF жарылу жиілігі) бойынша аудандастыру.

Figure 8. Zoning of the Jomart 2 mine field by disturbance (frequency of cracks FF) of the roof rock mass of the deposit 4-1.

Большая часть шахтного поля характеризуется низкой нарушенностью массива руды с RQD = 95÷100%. Более высокая нарушенность массива с RQD = 90÷70% наблюдается на северном фланге залежи, где проходит шарнир антиклинальной складки. Экстремально низкие значения RQD = 50÷30% (т.е. повышенная трещиноватость массива) выявлены в блоке 19-C2. Это связано с высокой плотностью пересекающихся тектонических разломов (см. рис. 4), по которым в шахту поступает вода из вышележащих водоносных горизонтов.

Для прогноза устойчивости камер каркас рудной залежи 4-1 поднят на 3 м выше в породы кровли. Субгоризонтальный разрез блочной модели FF по породам непосредственной кровли показан на рис. 8. Если принять среднюю частоту трещин FF = 3,4 шт/м, тогда можно районировать залежь 4-1 на участки с пониженной (FF < 3 шт/м) и повышенной (FF > 4 шт/м) нарушенностью пород кровли. Т.к. 80% трещин – это трещины слоистости, напластования, контакты (см. п. 4), то участки с высокой частотой трещин – это районы с тонкоплитчатым строением кровли. Например, в блоке 19-C2 наблюдается экстремально высокая частота трещин FF = 10÷40 шт/м [8].

Оценка жесткостей руды и вмещающей толщи пород

Для расчетов нагруженности целиков и процессов перераспределения горного давления при повторной разработке необходимо знать соотношение эквивалентных модулей деформации слоистого трещиноватого массива налегающей толщи и рудных залежей в условиях естественного залегания с учетом обводненности, наличия зоны выветривания у земной поверхности и других природных особенностей. Оценка жесткости природных массивов сделана по скоростям упругих продольных и поперечных волн (табл. 3), которые получены при сейсморазведке месторождения методом общей глубинной точки МОГТ [9, 10].

Таблица 3

Скорости упругих волн в массиве месторождения Жаман-Айбат

Кесте 3

Жаманай-Айбат кен орнының массивіндегі серпімді толқындардың жылдамдығы

Table 3

Elastic wave velocities in the Zhaman-Aybat deposit massif

глубина, м	V_p , м/с	V_s , м/с	коэффициент Пуассона	модуль упругости, МПа
Скважина 216				
63	2495		0,24	411
140	3800	2250	0,23	1053
343	4290	2510	0,24	1105
511	4900	2850	0,24	1289
Скважина 219				
23	1900		0,24	238
54	3848	2250	0,24	879
190	4356	2850	0,23	1389
340	4931	2900	0,24	1595
500	4932	2910	0,23	1680
Скважина 225				
63	3530	2100	0,23	972
135	4100	2400	0,24	1018
214	4240	2500	0,23	1229
279	4337	2550	0,24	1228
370	4337	2550	0,24	1228

По скорости упругой продольной волны рассчитан динамический модуль упругости массива:

$$E = V_p^2 * \frac{\gamma}{g} * \frac{1-v-2v^2}{1-v}, \quad (1)$$

где $\gamma = 2700 \text{ кг/м}^3$ – плотность толщи пород;

g – ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$);

v – коэффициент Пуассона, который рассчитан по соотношению $a = V_p/V_s$ скоростей продольных V_p и поперечных волн.

$$V = \frac{a^2 - 2}{2(a^2 - 1)}. \quad (2)$$

Коэффициент Пуассона толщи пород постоянен и равен 0,24 с коэффициентом вариации всего 2%. Модуль упругости с глубиной постоянно увеличивается за счет затухания процессов выветривания и уплотнения пород с глубиной. Полученные результаты представлены на рис. 9.

Средний модуль упругости толщи переслаивающихся осадочных пород в интервале глубин $H = 0 \div 500 \text{ м}$ составляет $E_n = 1086 \text{ МПа}$. В интервале залегания рудных тел на глубинах более 500 м средний модуль упругости рудоносной толщи равен $E_{рм} = 1485 \text{ МПа}$. Соотношение модулей пород налегающей толщи и руды составляет $E_n/E_{рм} = 0,75$. Такое же соотношение модулей ранее было определено для условий Жезказганского месторождения. Это вполне объяснимо за счет общности геологического, структурного и литологического строения месторождений.

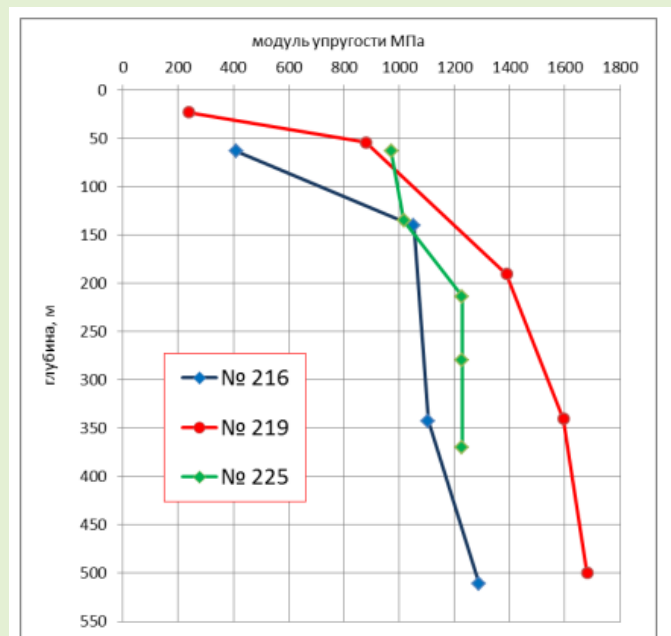


Рис. 9. Изменение модулей упругости пород с глубиной по данным сейсморазведки.

Сурет 9. Сейсмикалық барлау мәліметтері бойынша терендігі бар тау жыныстарының серпімділік модульдерін өзгерту.

Figure 9. The change in the elastic modulus of rocks with depth according to seismic data.

Результаты исследований

Соотнесем полученный результат с данными определения упругих свойств пород в образцах. По данным табл. 1 среднее значение модуля упругости пород рудоносной толщи в образцах равно $E_0 = 27$ ГПа. В массиве рудоносный динамический модуль упругости $E_{DM} = 1,5$ ГПа. Получает-

ся, что за счет трещиноватости модуль упругости массива меньше, чем в образцах, в 18 раз. В Жезказгане модули деформации в образце и в массиве различаются в 22 раза. Близость данных соотношений также объясняется близостью геологических условий месторождений, которые относятся к одному промышленному типу – медистых песчаников.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горно-геологические условия и горно-технические особенности разработки месторождения Жаман-Айбат: отчет о НИР Карагандинского Политехнического Института, Караганда, 1990, 44 с. (на русском языке)
2. Макаров А.Б. Оценка природного напряженного состояния массива на руднике Жаман-Айбат. / А.Б. Макаров, Д.В. Мосякин, А.А. Карпиков. // Горный журнал. 2005. №9-10 (на русском языке)
3. Измерения напряженно-деформированного состояния горного массива на месторождении Жаман-Айбат: отчет Горного института УрО РАН, Пермь, 2013, 106 с. (на русском языке)
4. Рекомендации для проектирования выработок в поле рудника Жомарт 2. // ГТО ГПК Корпорации Казахмыс, 2018. – №04-3.1.4-9-287 (на русском языке)
5. Hock E., Carranza-Torres C., Corkum B. Критерий Хука-Брауна – издание 2002 года. // В трудах 5-го Североамериканского симпозиума по механике горных пород и 17-й Канадской ассоциации проходчиков: NARMS-TAC, Торонто, Канада, под ред. Р.Э. Хамма и др., 2002. – Т. 1. – С. 267-273 (на английском языке)
6. Tianwei Lan, Hongwei Zhang, Sheng Li, Irina Batugina, Andrian Batugin. Применение и развитие метода геодинамического районирования по данным прогноза геодинамической опасности на угольных шахтах Китая. // Серия конференций IOP: Науки о Земле и окружающей среде, 2019. – Т. 221. – С. 1-8 (на английском языке)
7. Andrian Batugin, Valeria Musina, Irina Golovko. Анализ геодинамических условий района расположения горящих угольных отвалов. // Серия конференций IOP: Науки о Земле и окружающей среде, 2017. – Т. 95. – Вып. 4. – С. 1-8 (на английском языке)
8. Diomin V.F. Изучение влияния тектонических нарушений залегания угольных пластов на параметры крепления горных выработок анкерной крепью. / Diomin V.F., Khalikova E.R., Diomina T.V., Zhurov V.V. // Научный вестник Национального горного университета. 2019. №5. С. 16-21 (на английском языке)
9. Zholmagambetov N. Обеспечение безопасного геомеханического состояния массива горных пород, окружающих горные выработки в Карагандинском угольном бассейне, Казахстан. / Zholmagambetov N., Khalikova E., Demin V., Balabas A., Abdrashev R., Suiintayeva S. // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2023. Т. 17 (1). С. 74-83 (на английском языке)
10. Diomin V.F. Технология управления геомеханическими процессами для повышения устойчивости угольно-породного массива вокруг выработок. / Diomin V.F., Mussin R.A., Khalikova E.R., Zhutabekova A.E. // Труды университета, Караганда: КарГТУ. 2018. №3. С. 64-67 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Жаманайбат кен орнын игерудің тау-геологиялық жағдайлары мен тау-кен техникалық ерекшеліктері: Қарағанды политехникалық институтының ҒЗЖ туралы есебі, Қарағанды, 1990, 44 б. (орыс тілінде)
2. Макаров А.Б. Жаманай-Айбат кенішіндегі массивтің табиғи кернеу жағдайын бағалау. / А.Б. Макаров, Д.В. Мосякин, А.А. Карпиков. // Тау журналы. 2005. №9-10 (орыс тілінде)
3. Жаманай-Айбат кен орнындағы тау алабының кернеулі-деформацияланған жай-күйін өлшеу. // Тау-кен институтының есебі УрО РАН, Пермь, 2013, 106 б. (орыс тілінде)
4. Жомарт 2 кенішіндегі қазбаларды жобалауға арналған ұсыныстар. // Қазақмыс корпорациясының тау кен өнеркәсіп кешенінің тау кен техникалық бөлімі, 2018. – №04-3.1.4-9-287 (орыс тілінде)
5. Hock E., Carranza-Torres C., Corkum B. Хук-Браун критерийі – 2002 жылғы басылым. // 5-ші Солтүстік Америка тау жыныстары механикасы симпозиумы мен 17-ші канадалық өткізгіштер қауымдастығының жазбаларында: Narms-TAC, Торонто, Канада, редакцияланған Р.Э. Хамма және басқалар, 2002. – Т. 1. – Б. 267-273 (ағылшын тілінде)
6. Tianwei Lan, Hongwei Zhang, Sheng Li, Irina Batugina, Andrian Batugin. Қытай көмір шахталарында геодинамикалық қауіптілік болжамының деректері бойынша геодинамикалық

аудандастыру әдісін қолдану және дамыту. // IOP конференциялар сериясы: Жер және қоршаған орта туралы ғылымдар, 2019. – Т. 221. – Б.1-8 (ағылшын тілінде)

7. Andrian Batugin, Valeria Musina, Irina Golovko. Жанып жатқан көмір үйінділерінің орналасу аймағының геодинамикалық жағдайларын талдау. // IOP конференциялар сериясы: Жер және қоршаған орта туралы ғылымдар, 2017. – Т. 95. – Шығ. 4. – Б. 1-8 (ағылшын тілінде)
8. Diomin V.F. Көмір қабаттарының пайда болуының тектоникалық бұзылыстарының тау-кен қазбаларын якорь бекіткішімен бекіту параметрлеріне әсерін зерттеу. / Diomin V.F., Khalikova E.R., Diomina T.V., Zhurov V.V. // Ұлттық тау-кен университетінің Ғылыми хабаршысы. 2019. №5. – Б. 16-21 (ағылшын тілінде)
9. Zholmagambetov N. Қарағанды көмір бассейніндегі тау-кен қазбаларын қоршап тұрған тау жыныстары массивінің қауіпсіз геомеханикалық жай-күйін қамтамасыз ету, Қазақстан. / Zholmagambetov N., Khalikova E., Demin V., Balabas A., Abdrashev R., Suiintayeva S. // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. 2023. Т. 17 (1). Б. 74-83 (ағылшын тілінде)
10. Diomin V.F. Қазбалар айналасындағы көмір-жыныс массивінің тұрақтылығын арттыру үшін геомеханикалық процестерді басқару технологиясы. / Diomin V.F., Mussin R.A., Khalikova E.R., Zhumabekova A.E. // Университет еңбектері, Қарағанды: ҚарMTU. 2018. №3. Б. 64-67 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Gorno-geologicheskie usloviya i gorno-tekhnicheskie osobennosti razrabotki mestorozhdeniya Zhaman-Aibat: otchet o NIR Karagandinskogo Politehnicheskogo Instituta, Karaganda, 1990, 44 s. [Mining and geological conditions and mining technical features of the development of the Zhaman-Aybat deposit: report on the research work of the Karaganda Polytechnic Institute, Karaganda, 1990, 44 p.] (in Russian)
2. Makarov A.B. Otsenka prirodnogo napryazhennogo sostoyaniya massiva na rudnike Zhaman-Aibat. / Makarov A.B., Mosyakin D.V., Karpikov A.A. // Gornyi zhurnal. 2005. №9-10. S. [Makarov A.B. Assessment of the natural stress state of the massif at the Zhaman-Aybat mine. / Makarov A.B., Mosyakin D.V., Karpikov A.A. // Mining Magazine. 2005. №9-10 (in Russian)]
3. Izmereniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gornogo massiva na mestorozhdenii Zhaman-Aibat: otchet Gornogo instituta Ural'skogo Otdeleniya Rossiiskoi Akademii Nauk, Perm', 2013, 106 s. [Measurements of the stress-strain state of the mountain range at the Zhaman-Aybat field: Report of the Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, 2013, 106 p.] (in Russian)
4. Rekomendatsii dlya proektirovaniya vyrabotok v pole rudnika Zhomart 2. // GTO GPK Korporatsii Kazakhmys, 2018, № 04-3.1.4-9-287 [Recommendations for the design of workings in the field of the Jomart 2 mine. // Mining Engineering Department of the Mining and Industrial Complex of Kazakhmys Corporation, 2018, №04-3.1.4-9-287] (in Russian)
5. Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. Hook-Brown Test – 2002 edition. // In Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium and the 17th Canadian Mining Association: NARMS-TAC, Toronto, Canada, ed. R.E. Hamma et al. 2002. –Vol. 1. – P. 267-273 (in English)
6. Tianwei Lan, Hongwei Zhang, Sheng Li, Irina Batugina, Andrian Batugin. Application and Development of the Method of Geodynamic Zoning According to Geodynamic Hazard Forecasting at Coal Mines in China. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. – Vol. 221. – P. 1-8 (in English)
7. Andrian Batugin, Valeria Musina, Irina Golovko. Analysis of Geodynamical Conditions of Region of Burning Coal Dumps Location. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017. – Vol. 95. – Issue 4. – P. 1-8 (in English)
8. Diomin V.F. Studying coal seam bedding tectonic breach impact on supporting parameters of mine workings with roof bolting. / Diomin V.F., Khalikova E.R., Diomina T.V., Zhurov V.V. // Scientific Bulletin of the National Mining University. 2019. №5. P. 16-21 (in English)
9. Zholmagambetov N. Ensuring a safe geomechanical state of the rock mass surrounding the mine workings in the Karaganda coal basin, Kazakhstan. / Zholmagambetov N., Khalikova E., Demin V., Balabas A., Abdrashev R., Suiintayeva S. // Mining of Mineral Deposits. 2023. Vol. 17 (1). P. 74-83 (in English)
10. Diomin V.F. Technology of Controlling Geomechanical Processes for Increasing Stability of Coal-Rock Massive Around Workings. / Diomin V.F., Mussin R.A., Khalikova E.R., Zhumabekova A.E. // Proceedings of the University, Karaganda: Karaganda State Technical University. 2018. №3. P. 64-67 (in English)

Сведения об авторах:

Бахтыбаев Н.Б., кандидат технических наук, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), nurbol_1104@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9816-9765>

Альжанов Р.Х., докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), Arvion_12@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-3751-8540>

Халикова Э.Р., PhD, ст. преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), Salyahova_e@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1501-8492>

Ефремова С.С., преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), svetik_1976@bk.ru; <https://orcid.org/0009-0001-2667-2599>

Авторлар туралы мәліметтер:

Бахтыбаев Н.Б., техника ғылымдарының кандидаты, «Әбылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өңдеу» кафедрасының доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Альжанов Р.Х., «Әбылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өңдеу» кафедрасының докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Халикова Э.Р., PhD, «Әбылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өңдеу» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ефремова С.С., «Әбылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өңдеу» кафедрасының оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Bakhtybaev N.B., Candidate of Technical Sciences, Docent at the Department «Development of mineral Deposits» of the Non-Commercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Al'zhanov R.Kh., Doctoral Student at the Department «Development of mineral Deposits» of the Non-Commercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Khalikova E.R., PhD, Senior lecturer of the Department of «Development of Mineral Deposits» of Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Efremova S.S., Lecturer at the Department «Development of mineral deposits» of the Non-profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Smartgopro

GO DIGITAL EURASIA

Конференция + выставка в
формате живого общения
16-17 октября 2024

Код МРНТИ 38.61.31

*V.S. Rakhimova, D.S. Sapargaliyev, E.V. Sotnikov, T.A. Rakhimov

Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin (Almaty, Kazakhstan)

NUMERICAL MODELING OF GROUNDWATER FLOW AND ALLUVIAL FLOODPLAINS NITRATE TRANSPORT GEOECOLOGICAL ASPECTS OF AKTOBE REGION, KAZAKHSTAN

Abstract. Understanding the influence of groundwater contamination in floodplains is critical for developing long-term management plans for subsoil and assessing geo-ecological sustainability. This study aims to create a regional groundwater flow and transport model to evaluate the impact of nitrate groundwater contamination in the Aktoke region alluvial plain in West Kazakhstan. The MODFLOW model was used to construct the groundwater flow model of the local aquifer and simulate regional changes in the water table over time. The calibrated groundwater model yielded a root mean square error of 5.1 m for the entire modeled area. Results of the calibrated model show the extension of a nitrate plume under the current 2023 setting and the long-term 2048 scenario. The model helped clarify the correct location of the intake, considering increased withdrawal rates for the operational period.

Key words: groundwater, Bestamak site, Middle Quaternary modern alluvial aquifer, water intake, groundwater quality, operational reserves, mathematical model.

Қазақстанның Ақтөбе облысындағы аллювиалды жайылмаларында жерасты сулары ағынын және нитраттарды тасымалдаудың геоэкологиялық аспектілерін сандық модельдеу

Андатпа. Жайылымдардағы жерасты суларының ластануының әсерін түсіну жер қойнауын басқарудың ұзақ мерзімді жоспарларын әзірлеу және олардың геоэкологиялық тұрақтылығын бағалау үшін өте маңызды. Бұл зерттеудің мақсаты жерасты суларының ағыны мен тасымалдауының аймақтық моделін жасау және Ақтөбе облысы, Батыс Қазақстандағы аллювий шөгінділеріндегі жерасты суларының нитраттармен ластануының әсерін бағалау болып табылады. MODFLOW моделі орта төрттік дәуіріндегі заманауи аллювиалды сулы горизонттың жерасты суларының ағынын құру үшін пайдаланылды. Калибрленген жерасты суларының моделі бүкіл модельделген аумақ үшін 5,1 м орташа квадраттық қатені құрады. Үлгіні калибрлеу нәтижелері 2023 жылға және 2048 жылға дейінгі ұзақ мерзімді сценарийге арналған нитрат шлейфінің кеңейінісін көрсетеді. Модель пайдалану кезеңінде суға сұраныстың артуын ескере отырып, су алудың дұрыс орнын анықтауға көмектесті.

Түйінді сөздер: жерасты сулары, Бестамак учаскесі, орта төрттік заманының қазіргі аллювиалды сулы қабаты, су алу, жерасты суларының сапасы, пайдалану қорлары, математикалық модель.

Численное моделирование потока подземных вод и геоэкологические аспекты переноса нитратов в аллювиальных поймах Актобинской области Казахстана

Аннотация. Понимание влияния загрязнения подземных вод в поймах рек имеет решающее значение для разработки долгосрочных планов управления недрами и оценки их геоэкологической устойчивости. Целью данного исследования является разработка локальной модели потока и переноса подземных вод и оценки влияния нитратного загрязнения подземных вод аллювиальных отложений в Актобинской области, Западный Казахстан. Модель MODFLOW была использована для построения потока подземных вод водоносного среднетвертичного современного аллювиального горизонта. Откалиброванная модель подземных вод дала среднеквадратичную ошибку в 5,1 м для всей моделируемой территории. Результаты калибровки модели показывают расширение нитратного шлейфа на 2023 год и при долгосрочном сценарии до 2048 года. Модель помогла уточнить правильное расположение водозабора, учитывая рост водопотребности на эксплуатационный период.

Ключевые слова: подземные воды, участок Бестамак, водоносный среднетвертичный современный аллювиальный горизонт, водозабор, качество подземных вод, эксплуатационные запасы, математическая модель.

Introduction

Nitrates pose a severe threat to groundwater as a source of drinking water supply, with high concentrations leading to hypoxia and degradation of aquatic ecosystems. It is, therefore, essential to understand the processes that influence the formation, rate of spread, and direction of the plume in the water-rock system. Pressure on surface and groundwater sources is increasing with population growth and water demand, and in terms of availability, groundwater resources, despite their limited replenishment capacity, are subject to overexploitation and increased vulnerability to maintaining quality characteristics within local water abstraction. A number of studies indicate that groundwater may be a source of contaminants in floodplains and coastal zones [1-3]. To successfully conduct and improve such assessments, a better understanding of groundwater seepage and contaminant transport processes in floodplains is needed. The rate and direction of groundwater movement depend on the density and viscosity of the fluid and directly affect the amount and transport of dissolved contaminants in the water [4, 5].

Recently, numerical models have been increasingly used to determine the extent of groundwater contamination (e.g. nitrogen) at larger scales, to study flow and transport phenomena in aquifer systems, and to evaluate groundwater recharge strategies. In this general context, the objectives of this study

are (1) to model groundwater flow in the floodplain of the Ilek River, Aktoke region, to study the hydraulic response of the aquifer to contaminant inputs, and (2) to model particle tracers and simulate nitrate transport in the alluvial aquifer and its impact on the operation of the Bestamak water intake (West Kazakhstan) to predict future concentrations and mass loads of nitrate in groundwater. A conceptual model of groundwater flow and contaminant transport is presented, and a numerical simulation model is used to investigate filtration and migration processes. A modular finite-difference groundwater flow model (MODFLOW) was constructed to simulate three-dimensional regional changes in groundwater levels over time. A modular three-dimensional multi-species transport model (MODPATH) was used to simulate regional changes in the spread of the nitrate plume over time. The results of the groundwater flow and contaminant transport modeling are used to predict the management and sustainable use of the aquifer. In developing the model, several scenarios were considered to determine the optimal location, timing and regime of the intake, with an assessment of the degree of impact on groundwater quality based on the socio-economic needs of the site. This study can help improve water resources management in Western Kazakhstan, both locally and regionally, under water scarcity and climate change conditions, by identifying the optimal operating regime and assessing the degree of impact on the geo-ecological environment.

interconnection with surface water. The models were coupled, using results from the preceding model as input for the subsequent model.

Flow processes were simulated using MODFLOW [6], a combination of the MODPATH, a particle-tracking post-processing model by USGS [7] and the mass transport model MT3DMS [8]. MODFLOW and its associated post-processors, such as MODPATH, MT3DMS, PEST, and others, are currently the most widely used software modules for solving problems related to groundwater movement modelling [9]. This software package has been developed for over 30 years and is considered the most reliable and extensively tested. MODFLOW and its related modules are a world standard for solving groundwater dynamics and mass transport [10]. The USGS MODFLOW model was used for the groundwater flow model simulations of the alluvial floodplains in the Ilek River. The partial differential solution in MODFLOW is expressed in Equation (1):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

where W is the model sources and sinks (recharge, pumping, discharge to river, discharge from streams); K_{ii} is the hydraulic conductivity in the x , y , and z direction; H is the potentiometric head; T is the time; and S_s is the specific storage.

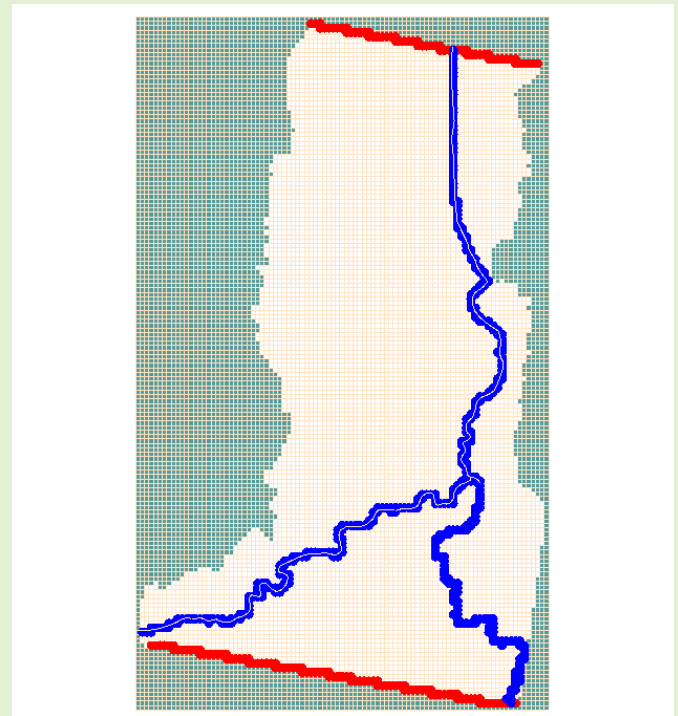
The solution to Equation (1) involves using the finite difference method to divide the entire model area into conditional blocks. In the centre of each block, an equation of this type is solved for seven unknowns, including the block's six sides and the central resultant.

The model grid was initially created with a rectangular grid of 100×100 m grid cells in the X and Y directions. For this purpose, the contour of the model area is approximated by a complex shape within a rectangle of 8552×14480 m; the sides coincide with the schematic boundaries (Fig. 3). The model area is divided into 29016 blocks (156×93 by coordinate axes).

Absolute ground surface markers were set from the space image produced by the SRTM satellite radar topographic survey with a cell size of 90×90 m high accuracy. Absolute surface elevations of the layers were set according to the data of geological and technical borehole sections according to their coordinates with further automatic interpolation using the Kriking method built into the Visual MODFLOW software package and the creation of model layers.

The dimensions of the filtration area in the plan were determined taking into account the natural boundaries of the alluvial aquifer on the sides of the Ilek River valley, as well as the technically feasible removal of the filtration area boundaries up and down the river valley from the groundwater intake of the Bestamak site. At the same time, the latter boundaries were chosen so that the area of influence of the water intake did not extend beyond them.

The western boundary was drawn along the surface outcrops of Triassic terrigenous sediments of the Kurailinsky Formation, which are represented by clays and are water-bearing. Accordingly, along the bed of the Ilek River, the boundary is set with a variable head, type III, which varies depending on the gradient



Green colour means inactive model cells, red is – the «CONSTANT HEAD» boundary, and blue is – a «RIVER» type boundary corresponding to the contours of the Ilek and Baipakty rivers.

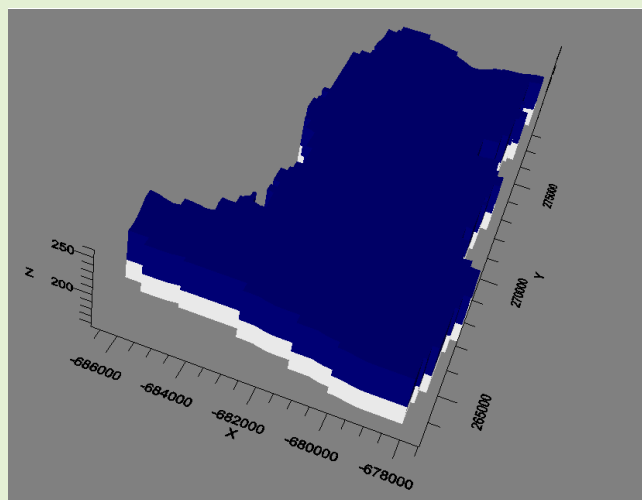
Figure 3. Schematical map of the study area boundary conditions assignment.

Сурет 3. Схематикалық карта зерттеу аймағының шектеулі шарттарының ерекшеліктері.

Рис. 3. Схематическая карта задания граничных условий участка исследований.

of the channel from 230.0 m at the head of the river according to the water level measurements at the gauging stations to 218.0 m downstream. On the Baipakty River, a type III variable level boundary with interpolation of the level according to the results of measurements from 226.5 m at the junction with the Ilek River bed to 228.9 m at the western boundary of the model area is set. The northern boundary of the model filtration area is set along the isohypses line with the absolute level mark of 214.0 m. The southern boundary is set along the isohypses with a level mark of 230.0 m. The schematisation of the hydrogeological section was made considering the actual natural conditions of the water-bearing alluvial horizon (aQ_{II-IV}). The aquifer is underlain mainly by clays of terrigenous aquitard (T_3kr). An initial filtration coefficient of 29.1 m/day was set for the productive aquifer, which was further refined during the calibration of the filtration parameters. For water-bearing sediments, the filtration coefficient is set at $k = 1 \cdot 10^{-10}$ m/day (Fig. 4).

The assumed value of gravity water yield for the productive aquifer (layer 1) is $m = 0.2$, based on experimental pumping data. The recharge value for the upper layer of the model area is set at 250 mm/year, according to observations by RGP «Kazgidromet» [11] at Aktobe station for the minimal residual value.



The white colour represents the lower water-impermeable layer with a given filtration coefficient equal to $k = 1 - 10^{-10}$ m/day; the blue represents the productive aquifer.

Figure 4. Hydrogeological cross-section schematisation and filtration parameter fields.

Сурет 4. Гидрогеологиялық қиманың және сүзу параметрлері өрістерінің схемасы.

Рис. 4. Схематизация гидрогеологического разреза и полей фильтрационных параметров.

Transport modelling concept

MODPATH is referred to as a particle tracking post-processor model for MODFLOW. MODPATH uses the heads and fluxes calculated by MODFLOW and derives a pathline that an imaginary packet of water will follow. The MODPATH module uses a semi-analytical particle tracking scheme that uses an analytical expression to calculate particle trajectories based on the head data in each finite-difference grid cell during the simulation. The results of solving the equation show the groundwater flow direction and magnitude in each cell.

MODPATH calculates particle pathlines by solving Eq.2 to determine their direction:

$$d = \frac{\bar{v}(\Delta t)}{n_{eff}}, \quad (2)$$

where \bar{v} – represents the average filtration rate, calculated by the MODFLOW module for the centre of each block; Δt – change over time (10,000 days); n_{eff} – effective porosity (0.35 according to the data of earlier works).

Our study measures nitrate concentration in ponds rather than separating based on crop cover, as crop cover and application rates vary yearly. The objective is to focus on areas with higher concentrations. Therefore, we do not assume crop areas are a source of pollution in this case, as previous nitrate measurements have shown no excess nitrate accumulation in the soil.

The model's nitrate application rate is directly proportional to the total amount of nitrate applied to the ponds in the form of wastewater effluent. Background nitrate values were used to simulate nitrate dynamics in the aquifer, and mass loading from rainwater was considered. Simulations were conducted

for 15 and 25 years to reflect concentrations in 2008 and predicted concentrations for 2048.

Results and discussion

Results for the groundwater modelling portion of our analysis compared with the previous fieldwork monitoring results. The model assumes that diffuse flow is the dominant flow regime in the overall geologic unit, although there may be areas of turbulent conduit flow within the river. Anisotropy was set to a constant 10:1 ratio between the horizontal and vertical in each geologic layer using established measures. The hydraulic heads from 5 wells [11] taken in 2008 were used for calibration. Based on modelling experience, it is assumed that normalised root mean square error (from now on RMSE) with heads should not exceed 15-30% of the calculated values. The steady-state calibration solution was repeated until the modelled and measured levels in the observation wells coincided satisfactorily, estimated at 5.94%.

The RMSE was computed for steady state and transient models using Equation (3) based on the observed well values from the fall of 2008:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (hcal_i - hm_i)^2}{n}}, \quad (3)$$

where $hcal_i$ is the calculated head at a node, hm_i is the measured head at a node, n is the number of comparison points, and i is the subscript defining comparison point between 1 and n .

The adequacy of the mathematical model to the natural conditions can also be substantiated through transient model calibration. To specify the capacitive parameters of the model, Eq.1 is solved to determine the adequacy of coincidence or to obtain groundwater level reductions in the productive aquifer at the site of the operating water intake. After confirming that the mathematical model aligns with the hydrogeological conditions through steady-state calibration for 2008, the operation process of the Bestamak water intake from 2008 to 2022 was replicated. The initial state of the groundwater level was determined by conducting non-stationary calibration. Repeating the water intake operation on the developed model enables the selection of a depression funnel formation process that resembles the one observed in natural conditions. This also prepares the hydrodynamic basis of the model, which can be used for solving forecasting scenarios.

Figure 5 shows a graph of the convergence of modelled and actual measured groundwater levels for the present period, assuming the water intake operation. The evaluation was carried out on 12 control measurements, demonstrating a high convergence of values. The correlation coefficient was 0.99, and the normalised mean square error was estimated to be 6.21%.

The analysis of the steady-state and transient calibrations results shows a relatively high convergence with the natural conditions. It confirms the possibility of using the developed model for solving prediction problems and mass transfer.

The necessity to set forecast migration problems is determined by potential sources of anthropogenic pollution within the Bestamak water intake, including filtration fields, poultry farms and others.

The solution of migration is realised on the basis of a developed hydrodynamic mathematical model – the filtration math-

emational model modelled particle transport of a conservative pollutant by groundwater flow. The MODPATH module of the Visual MOFLOW Flex software package was used for the solution. The software's technical capabilities enable a comprehensive forecast of the simultaneous transport of pollutant particles from all sources.

The text presents trajectories of pollutant particles' movement at different times, indicating areas with potential sources of pollution. Figure 6 displays the predicted trajectories of particles from potential sources of pollution for a forecast period of 10000 days in a section.

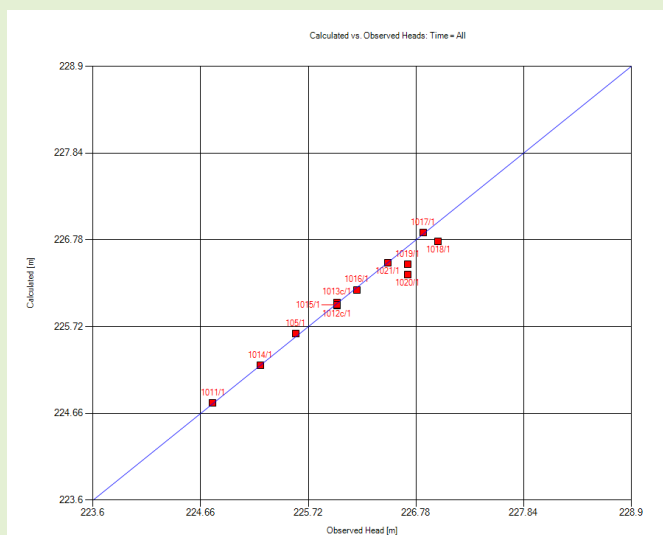


Figure 5. Graph of modelled and measured values non-stationary calibration.

Сурет 5. Стационарлық емес калибрлеу нәтижелері бойынша үлгі және өлшенетін шамалардың жинақтылық графигі.

Рис. 5. График сходимости модельных и фактических значений по результатам нестационарной калибровки.

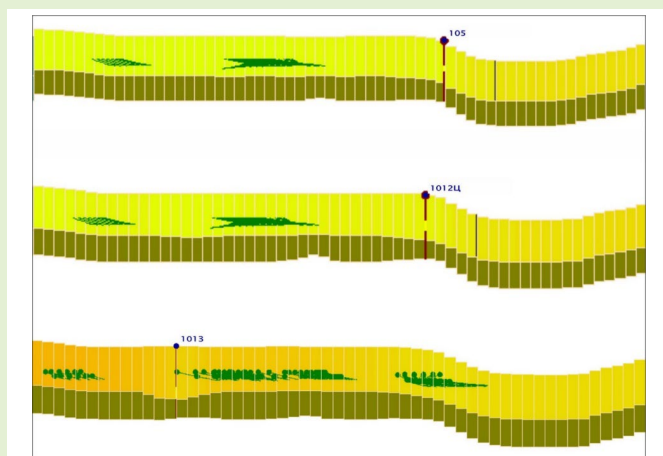


Figure 6. Particulate matter trace profiles by wells.

Сурет 6. Ұңғымалар бойынша ластаушы бөлшектердің профильдерін қадағалау.

Рис. 6. Профили трассировки загрязняющих частиц по скважинам.

The model successfully carried out predictive migration analysis. Based on the results defined at well No. 1013C, pollutants are expected to be pulled up from the filtration fields due to the stated design of water withdrawal. As a preventive measure, it is recommended that this well be excluded from the general scheme of water intake and that the load be redistributed to water intakes of other sites with the possibility of their expansion.

The model includes a degree of uncertainty due to the lack of screened elevations for each monitoring well. When a screen elevation is not assigned to a well, MODFLOW assumes that the well intersects the top of the water table. This can skew the accuracy of nitrate concentration in deep-screened wells. Although the well reflects the potentiometric head, the water from within the well may be much more profound. Nitrate is often used as a conservative tracer in groundwater due to its unhindered flow. Nitrate concentrations will likely be highest closest to the potentiometric surface, as horizontal flow transports more nitrate than vertical flow. This difference in velocity is also evident in cross-sections of the model, where nitrate concentrations decrease significantly with depth.

Conclusion

This study presents a framework for modelling the impact of treated wastewater and its large-scale use in irrigating agricultural and forested lands. The framework includes a regional groundwater flow model and an assessment of groundwater nitrate contamination in an alluvial landscape. The study utilised MODFLOW and MODPATH models to simulate groundwater flow and contaminant transport in the aquifer, which was consistent with previous models. The 12 wells within the model area had a normalised standard deviation of 0.14 m for their water level values. The RMSE for the entire model was 6.21%.

Nitrate concentrations in groundwater were highly variable across the watershed and seasons but correlated with field study. The 2023 nitrate model was compared to measured nitrate concentrations in groundwater wells. The observed and modelled nitrate concentrations in the aquifer differed due to the heterogeneity of the subsurface environment caused by the unpredictable terrain with lenses of clays present, leading to non-uniform flow and nitrate transport. Nitrate concentrations were simulated for 2048 under a specific land-use scenario involving nitrogen fertiliser application and irrigation with treated wastewater. The nitrate concentrations modelled in 2048 were similar to those in the 2023 model. This demonstrates that if the total nitrogen contribution to the aquifer remains at the wastewater threshold, the concentrations within the groundwater should closely reflect current values, assuming no significant change in the volumetric rate of effluent application.

The results of the 2048 model demonstrate the sustainability of wastewater use. This information is helpful to local governments and policymakers when formulating long-term management and sustainable development plans. Wastewater can be used to optimise agricultural management practices and reduce groundwater contamination from nitrate. The developed modelling framework can simulate nitrate concentra-

tions' spatial and temporal variability in aquifers found in alluvial fans. These aquifers are characterised by high permeability materials and high conductivity solution conduits, making water resources vulnerable to non-point source pollution. The framework can be applied to similar aquifers with comparable characteristics.

This research has been/was/is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR 21882122) «Sustainable development of natural-economic and socio-economic systems of the West Kazakhstan region in the context of green growth: complex analysis, concept, forecast estimates and scenarios».

REFERENCES

1. G. Wriedt et al. Modelling nitrate transport and turnover in a lowland catchment system. // *Journal of Hydrology*. 2006. Vol. 328. Issues 1-2. P. 157-176 (in English)
2. D. Murgulet et al. Effect of variable-density groundwater flow on nitrate flux to coastal waters. // *Hydrological Processes*. 2016. Vol. 30. Issue 2. P. 302-319 (in English)
3. Timothy J. Daniel. Numerical modeling of groundwater flow and nitrate transport in karst and wastewater irrigated agricultural and forest landscapes, PA, USA. / Timothy J. Daniel, John Richendrfer, Ronald Falta, Lawrence Murdoch, Henry Lin, Christophe J.G. Darnault. // *Agrosystems, Geosciences and Environment*. 2023. Vol. 6. Issue 4. P. 82-94 (in English)
4. William M. Alley. *Regional ground-water quality*: John Wiley & Sons, 1993, P. 443-469 (in English)
5. Barlow P.M. *Groundwater in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast: U.S. Geological Survey*, 2003, Circular 1262, P. 121 (in English)
6. Harbaugh, Arlen W., Banta Edward R., Hill Mary C. *MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey modular ground-water model: User guide to modularisation concepts and the ground-water flow process: USGS Publications Warehouse*, 2000 (in English)
7. Pollock David W. *User guide for MODPATH Version 7-A particle-tracking model for MODFLOW: USGS Publications Warehouse*, 2016 (in English)
8. Zheng C., Wang P.P. *MT3DMS: A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems; Documentation and User's Guide: Contract Report SERDP-99-1, US Army Corps of Engineers-Engineer Research and Development Center*, 1999 (in English)
9. Niswonger R.G., Panday S., Ibaraki M. *MODFLOWNWT, a newton formulation for MODFLOW-2005: U.S. Geological Survey*, 2011 (in English)
10. Pollock D.W. *User's Guide for MODPATH/MODPATH-PLOT Version 3: A Particle Tracking Post-Processing Package for MODFLOW, the U.S. Geological Survey Finite-Difference Ground-Water Flow Model: USGS Open-File Report*, 1994, p. 464 (in English)
11. Rykhlyuk T.N., Neklyudova T.N. *Otchet o rezul'tatakh rabot po ob'ektu: «Poiskovo-razvedochnye raboty dlya vyyavleniya mestorozhdenii podzemnykh vod s tsel'yu vodoobespecheniya 14 sel'skikh naseleennykh punktov Aktyubinskoi oblasti (pp. Bestamak, Bolgarka, Il'inka, Karakhobda, Sambai, Sarykhobda, Pavlovka Alginskogo raiona; pp. Ashchylysay, Velikhovka Kargalinskogo raiona; pp. Rodnikovka Martukskogo raiona; pp. Zhirenkopa, Kyzylzhar Khobdinskogo raiona; pp. Kumkuduk Aitekebiiskogo raiona; pp. Altykarasu Temirskogo raiona)», vypolnennykh v 2007-2008 gg. s podschetom ekspluatatsionnykh zapasov po sostoyaniyu na 01.11.2008 g. TOO «Akpan», 2008 [Rykhlyuk T.N., Neklyudova T.N. Report on violations of work on the object: «Prospecting and exploration work to detect the birthplace of groundwater with water supply object 14 phenomena in settlements of the Aktobe region (Bestamak, Bolgarka, Ilyinka, Karakhobda, Sambay, Sarykhobda, Pavlovka settlements of the Alginsky district; Ashchylysay settlement, Velikhovka) Kargaly district; Rodnikovka village, Martuk district, pp. with calculation of inventory consumption as of November 1, 2008. Akpan LLP», 2008] (in Russian)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. G. Wriedt et al. Жазық су жинау жүйесіндегі нитраттардың тасымалдануы мен айналымын модельдеу. // *Гидрология журналы*. 2006. Т. 328. Шығ. 1-2. Б. 157-176 (ағылшын тілінде)
2. D. Murgulet et al. Айнымалы тығыздықтағы жерасты суларының ағынының жағалау суларына нитраттардың ағынына әсері. // *Гидрологиялық процестер*. 2016. Т. 30. Шығ. 2. Б. 302-319 (ағылшын тілінде)
3. Timothy J. Daniel. Суармалы ауылшаруашылық және орман ландшафттарында карст және сарқынды сулардағы жер асты суларының ағыны мен нитраттардың тасымалдануын сандық модельдеу, PA, USA. / Timothy J. Daniel, John Richendrfer, Ronald Falta, Lawrence Murdoch, Henry Lin, Christophe J. G. Darnault. // *Агрожүйелер, геоғылымдар және қоршаған орта*. Т. 6. Шығ. 4. Б. 82-94 (ағылшын тілінде)

4. William M. Alley. Аймақтық жер асты суларының сапасы. // Джон Уайли және ұлдары. 1993, Б. 443-469 (ағылшын тілінде)
5. Barlow P.M. Атлант мұхиты жағалауындағы тұщы-тұзды ортадағы жер асты сулары: АҚШ геологиялық қызметі, 2003, циркуляр 1262, Б. 121 (ағылшын тілінде)
6. Harbaugh Arlen W., Banta Edward R., Hill Mary C. MODFLOW-2000, АҚШ-тың геологиялық қызметі жер асты суларының модульдік моделі: модульдеу тұжырымдамалары мен жер асты суларының ағыны процесіне арналған пайдаланушы нұсқаулығы: USGS Publications Warehouse, 2000 (ағылшын тілінде)
7. Pollock David W. MODPATH 7 нұсқасына арналған пайдаланушы нұсқаулығы MODFLOW үшін бөлшектерді бақылау үлгісі: USGS Publications Warehouse, 2016 (ағылшын тілінде)
8. Zheng C., Wang P.P. MT3DMS: Жер асты сулары жүйелеріндегі ластаушы заттардың адвекциялық, дисперсиялық және химиялық реакцияларын модельдеуге арналған модульдік үш өлшемді көп түрді тасымалдау моделі; Құжаттар және пайдаланушы нұсқаулығы: US Army Corps of Engineers-Engineer Research and Development Center, Contract Report SERDP-99-1, 1999 (ағылшын тілінде)
9. Niswonger R.G., Panday S., Ibaraki M. MODFLOWNWT, MODFLOW-2005 үшін Ньютон тұжырымы: U.S. Geological Survey, 2011 (ағылшын тілінде)
10. Pollock D.W. MODPATH/MODPATH-PLOT 3-нұсқасына арналған пайдаланушы нұсқаулығы: MODFLOW үшін бөлшектерді бақылаудың кейінгі өңдеу пакеті, АҚШ-тың геологиялық зерттеулерінің соңғы айырмашылықтардағы жер-су ағынының үлгісі: USGS Open-File Report, 1994, p. 464 (ағылшын тілінде)
11. Рыхлюк Т.Н., Неклюдова Т.Н. Нысан бойынша жұмыс нәтижелері туралы есеп: «Ақтөбе облысының 14 ауылдық елді мекендерін (Бестамақ, Болгарка, Ильинка, Қарахобда, Самбай, Сарыхобда) сумен қамтамасыз ету мақсатында жер асты суларының кен орындарын анықтау бойынша іздеу-барлау жұмыстары, Алғын ауданы Павловка, Қарғалы ауданы, Велиховка, Ащылысай, Мәртөк ауданы, Родниковка, Хобдин ауданы, Жиренқона, Әйтеке би ауданы, Құмқұдық, Темір ауданы, Алтықарасу ауылы)», 2007-2008 жылдары аяқталды. операциялық резервтер есебімен 01.11.2008 ж. «Ақпан» ЖШС, 2008 ж. (орыс тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. G. Wriedt et al. Моделирование переноса и оборота нитратов в системе низменного водосбора. // Журнал гидрогеологии. 2006. Т. 328. Вып. 1-2. С. 157-176 (на английском языке)
2. D. Murgulet et al. Влияние потока подземных вод с переменной плотностью на поток нитратов в прибрежные воды. // Гидрологические процессы. 2016. Т. 30. Вып. 2. С. 302-319 (на английском языке)
3. Timothy J. Daniel. Численное моделирование потока подземных вод и переноса нитратов в карстовых и орошаемых сточными водами сельскохозяйственных и лесных ландшафтах. / Timothy J. Daniel, John Richendrfer, Ronald Falta, Lawrence Murdoch, Henry Lin, Christophe J. G. Darnault. // Агросистемы, геонауки и окружающая среда. 2023. Т. 6. Вып. 4. Р. 82-94 (на английском языке)
4. William M. Alley. Региональное качество подземных вод: Джон Уайли и сыновья, 1993, Р. 443-469 (на английском языке)
5. Barlow P.M. Подземные воды в пресноводно-соленой среде Атлантического побережья: Геологическая служба США, 2003, циркуляр 1262, С. 121 (на английском языке)
6. Harbaugh Arlen W., Banta Edward R., Hill Mary C. MODFLOW-2000, модульная модель подземных вод Геологической службы США: Руководство пользователя по концепциям модуляризации и процессу течения подземных вод: архив публикаций Геологической службы США, 2000 (на английском языке)
7. Pollock David W. Руководство пользователя для модели MODPATH Version 7-A с отслеживанием частиц для MODFLOW: архив публикаций Геологической службы США, 2016 (на английском языке)
8. Zheng C., Wang P.P. MT3DMS: модульная трехмерная многовидовая транспортная модель для моделирования адвекции, рассеивания и химических реакций загрязняющих веществ в системах подземных вод; документация и руководство пользователя: отчет о контракте Инженерного корпуса армии США и Центра инженерных исследований и разработок SERDP-99-1, 1999 (на английском языке)
9. Niswonger R.G., Panday S., Ibaraki M. MODFLOWNWT, ньютоновская формула для MODFLOW-2005: Геологическая служба США, 2011 (на английском языке)

10. Pollock D.W. Руководство пользователя для MODPATH/MODPATH-PLOT версии 3: пакет постобработки отслеживания частиц для MODFLOW, конечно-разностной модели течения подземных вод Геологической службы США: отчет об открытом файле Геологической службы США, 1994, с. 464 (на английском языке)
11. Рыхлюк Т.Н., Неклюдова Т.Н. Отчет о результатах работ по объекту: «Поисково-разведочные работы для выявления месторождений подземных вод с целью водообеспечения 14 сельских населенных пунктов Актюбинской области (пп. Бестамак, Болгарка, Ильинка, Карахобда, Самбай, Сарыхобда, Павловка Алгинского района; пп. Ащылысай, Велиховка Каргалинского района; п. Родниковка Мартукского района; пп. Жиренкопа, Кызылжар Хобдинского района; п. Кумкудук Айтекебийского района; п. Алтыкарасу Темирского района)», выполненных в 2007-2008 гг. с подсчетом эксплуатационных запасов по состоянию на 01.11.2008 г. ТОО «Акпан», 2008 (на русском языке)

Information about the authors:

Rakhimova V.S., Ph.D, Senior Researcher at the Laboratory of Modeling Hydrochemical and Geoecological Processes of the Institute of Hydrogeology and Geoecology, named after U.M. Akhmedsafin (Almaty, Kazakhstan), salybekova_v@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5783-1081>

Sapargaliyev D.S., Executive Secretary of the Innovation Council for the implementation of innovative projects and programs of the Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Ahmedsafin Satbayev of the University (Almaty, Kazakhstan), Doctoral Student at the Department «Hydrogeology, Engineering and Oil and Gas Geology» of the Satbayev University, Graduate student of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov (Bishkek, Kyrgyzstan), sapargaliyevds@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3751-7738>

Sotnikov E.V., Ph.D, Head of the Laboratory of Modeling Hydrochemical and Geoecological Processes of the Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin (Almaty, Kazakhstan), sotnikov_yevgeniy@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3542-0983>

Rakhimov T.A., Ph.D, Head of the Laboratory of Regional Hydrogeology and Geoecology of the Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin (Almaty, Kazakhstan), t-rakhimov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0976-4643>

Авторлар туралы мәліметтер:

Рахимова В.С., Ph.D, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институтының гидрохимиялық және геоэкологиялық процестерді модельдеу зертханасының аға ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Сапарғалиев Д.С., Satbayev University «Гидрогеология, инженерлік геология және мұнай-газ геологиясы» кафедрасының докторанты, Satbayev University, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институтының инновациялық жобалар мен бағдарламаларды іске асыру жөніндегі инновациялық кеңестің жауапты хатшысы (Алматы қ., Қазақстан), И. Раззаков атындағы Қырғыз мемлекеттік техникалық университетінің аспиранты (Бішкек қ., Қырғызстан)

Сотников Е.В., Ph.D, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институтының гидрохимиялық және геоэкологиялық процестерді модельдеу зертханасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

Рахимов Т.А., Ph.D, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институтының аймақтық гидрогеология және геоэкология зертханасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

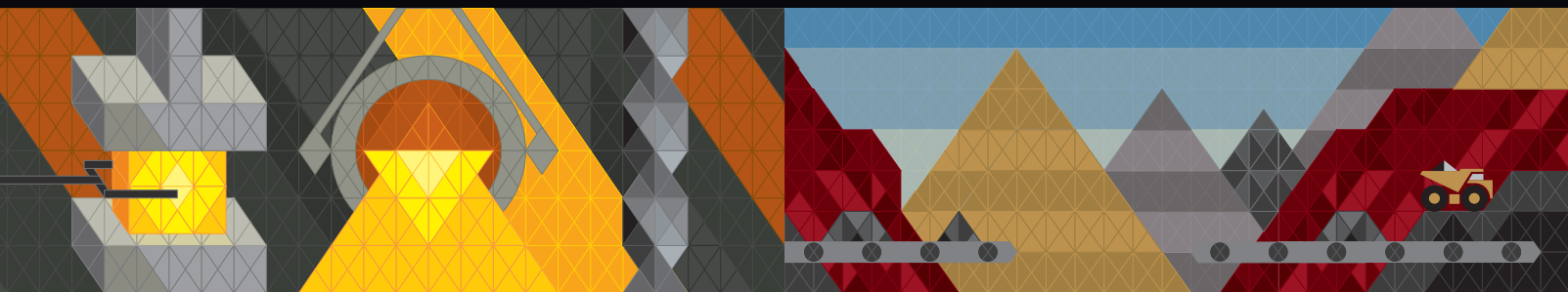
Сведения об авторах:

Рахимова В.С., Ph.D, Старший научный сотрудник лаборатории моделирования гидродинамических и геоэкологических процессов, Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина, (г. Алматы, Казахстан)

Сапарғалиев Д.С., докторант кафедры «Гидрогеология, инженерная геология и нефтегазовая геология» Satbayev University, ответственный секретарь Совета по инновациям по реализации инновационных проектов и программ Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), аспирант Кыргызского государственного технического университета имени И. Раззакова (г. Бишкек, Кыргызстан)

Сотников Е.В., Ph.D, заведующий лабораторией моделирования гидродинамических и геоэкологических процессов Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина (Алматы, Казахстан)

Рахимов Т.А., Ph.D, заведующий лабораторией региональной гидрогеологии и геоэкологии Института гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина (Алматы, Казахстан)



Металлургия. Металлообработка

24–27 сентября 2024
Пермь

16-я выставка современных технологий, оборудования, материалов для машиностроения, металлообрабатывающей промышленности, сварочного, подготовительного и литейного производства

крупнейший специализированный
региональный проект в России



+7 (342) 206-44-17
ochkina@proexpo.ru

metal.proexpo.ru

Рудник. Урал / The Mine. Ural

23–25 октября 2024
Екатеринбург

9-я международная выставка современных технологий, оборудования и спецтехники для добычи, обогащения и транспортировки полезных ископаемых

одна из главных выставок
горной тематики в России



+7 (342) 264-64-14
sheina@proexpo.ru

mine.proexpo.ru



Металлообработка. Сварка — Урал

18–21 марта 2025
Екатеринбург

международная выставка технологий, оборудования, материалов для машиностроения, металлообрабатывающей промышленности и сварочного производства

крупнейший специализированный
региональный проект в России



+7 (342) 264-64-27
egorova@proexpo.ru

metal-ekb.proexpo.ru

Металлургмаш. Литмаш. Металлоконструкции

18–21 марта 2025
Екатеринбург

выставка технологий и оборудования для металлургии, литейной промышленности и готовой металлопродукции

место встречи специалистов
в области металлургии
и литейного производства



+7 (342) 264-64-24
bav@proexpo.ru

metalmash.proexpo.ru

МРНТИ 55.35.99

Б.С. Бейсенов, Р.З. Тагауова, С.А. Бортебаев, *Е.Е. Сарыбаев
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ И РАЗДВИЖНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХКАМЕРНЫХ СИЛЬФОННЫХ ПНЕВМОБАЛЛОНОВ

Аннотация. На предприятиях горно-металлургического комплекса существует проблема пуска оборудования с тяжелым ротором. При эксплуатации оборудования с большой инерционной массой наиболее неблагоприятными режимами являются пусковые режимы. Во время пуска такого вида оборудования наблюдается кратное превышение нагрузок на пусковые устройства, что приводит к снижению их ресурса, выходу из строя электродвигателя, повышенным эксплуатационным затратам. В данной статье представлены результаты исследований силовых и раздвижных параметров трехкамерных сильфонных пневмобаллонов. Построены графики зависимости расхода воздуха от давления в рабочем пневмобаллоне и времени раздвижки от давления, по которым могут быть выбраны параметры цеховой пневмомагистрали для обеспечения работоспособности пусковых устройств на базе трехкамерных сильфонных пневмобаллонов.

Ключевые слова: пусковое устройство, пневмобаллон, реечный, сильфон, трехкамерный, пусковой ток.

Үш камералы сильфонды пневмобаллондардың күштік және жылжымалы параметрлерін зерттеу

Аннотация. Тау-кен металлургия кешенінің кәсіпорындарында ауыр роторлы жабдықты іске қосу мәселесі түнді болып табылады. Үлкен инерциялық массасы бар жабдықты пайдалану кезінде іске қосу режимдері ең қолайсыз режимдер болып табылады. Жабдықтың бұл түрін іске қосу кезінде іске қосу құрылғыларына жүктемелердің бірнеше есе артуы байқалады, бұл олардың ресурсының төмендеуіне, электр қозғалтқышының істен шығуына, электр энергиясының пайдалану шығындарының жоғарылауына және т. б. алып келеді. Осы мақалада көмекші үш камералы сильфонды пневмобаллондардың күштік және жылжымалы параметрлерін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Үш камералы сильфонды пневмобаллондар базасында іске қосу құрылғыларының жұмыс қабілеттілігін қамтамасыз ету үшін цех пневмомагистралінің параметрлері таңдалуы мүмкін жұмыс пневмобаллонындағы қысымға және қысымды жылжыту уақытына байланысты кестелер жасалды.

Түйінді сөздер: іске қосу құрылғысы, пневмобаллон, рейкалық, сильфон, үш камералы, іске қосу тогы.

Study of power and sliding parameters of three-chamber bellows pneumatic cylinders

Abstract. At the enterprises of the mining and metallurgical complex, there is a problem of starting equipment with a heavy rotor. When operating equipment with a large inertial mass, the most unfavorable modes are the starting modes. During the start-up of this type of equipment, there is a multiple excess of loads on the starting devices, which leads to a failure of the electric motor, increased operating costs for electricity, etc. This article presents the results of studies of the power and sliding parameters of three-chamber bellows pneumatic cylinders. Graphs have been constructed of the dependence of air flow on the pressure in the working pneumatic cylinder and the expansion time on the pressure, according to which the parameters of the workshop pneumatic line can be selected to ensure the operability of starting devices based on three-chamber bellows pneumatic cylinders.

Key words: starting device, pneumatic cylinder, rack, bellows, three-chamber, starting current.

Введение

Проблемы пуска технологических машин с тяжелым ротором известны – это и большие пусковые токи, которые приводят к выходу из строя электродвигателя, и перегрузки элементов привода и повышенный износ опорных узлов из-за необходимости преодоления сил трения покоя в момент пуска, при длительных остановках и т.д. [1, 2].

Для решения этой проблемы на кафедре ТМиТ SU с 2000-х годов ведутся работы в этом направлении. Были разработаны варианты пуско-вспомогательных приводов на базе сильфонных и клиновых пневмокамер, которые подтвердили свою эффективность при испытаниях на специально разработанных стендах. Пусковые токи удалось снизить на 30% и 40% соответственно, но в конструктивном отношении они были достаточно сложны [3-5].

В настоящее время разработана версия пускового устройства, основанная на использовании реечного механизма, для которой в 2022 году был получен инновационный патент [6]. Однако для успешной реализации данного проекта потребовались сильфонные пневмобаллоны с максимальной амплитудой раздвижки. Доступные двухкамерные сильфонные пневмобаллоны обеспечивали максимальный ход в диапазоне 100-110 мм, чего было явно недостаточно. В результате был осуществлен переход к использованию трехкамерных сильфонных пневмобаллонов диаметром 300 мм, информация о которых практически отсутствовала в доступных источниках [7, 8].

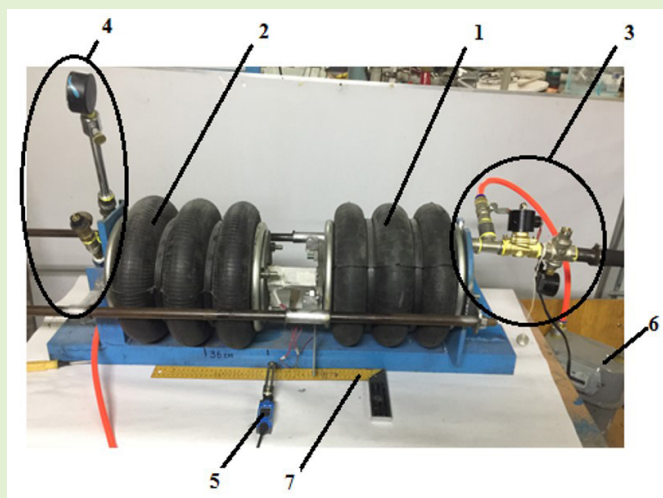
Методология

Вопреки распространенному мнению, что исследования следует начинать с определения или подтверждения силовых параметров, было принято решение учесть результаты исследований, утверждающие, что максимальное силовое воздействие сильфонного пневмобаллона достигается при использовании максимального полезного объема. Исследования были построены на первом этапе с определения раздвижных и объемных параметров с последующим учетом полученных данных.

Для изучения раздвижных и объемных (расходных) характеристик был разработан стенд, представленный на рисунке 1.

В основу методики исследования свойств трехкамерных сильфонных пневмобаллонов положен принцип создания сопротивления раздвижке с использованием аналогичного баллона, наддуваемого контролируемым избыточным давлением. Для наддува рабочего сильфонного пневмобаллона была разработана система подачи рабочего давления 3 (рис. 1). В системе подачи рабочего давления (рис. 2) перед электроклапаном 2 установлен редуктор давления 1 с манометром 3. Для определения объема воздуха, используемого для наддува баллона, после электроклапана предусмотрен отвод с шаровым краном 4, соединенный с газовым счетчиком 5. Таким образом, появилась возможность контролировать давление и объем воздуха, использованного при наддуве под определенным давлением.

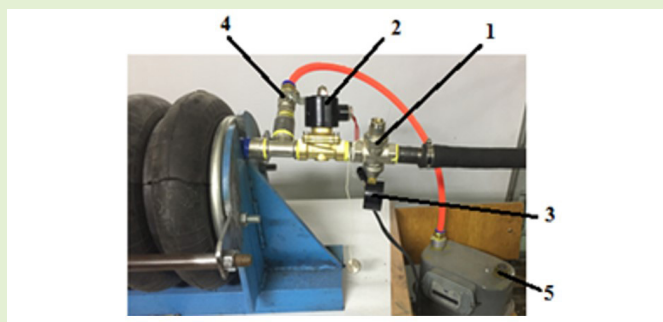
Для поддержания давления в системе имитации сопротивления раздвижки (рис. 3) использовали предохранительный клапан 1, настроенный на определенное давление.



1 – рабочий сифонный пневмобаллон; 2 – пневмобаллон для имитации силового сопротивления; 3 – система подачи рабочего давления; 4 – система обеспечения параметров сопротивления (давления); 5 – конечный выключатель; 6 – газовый счетчик; 7 – линейка.

Рис. 1. Общий вид стенда для исследования возможностей пневмобаллонного вспомогательного привода.

Сурет 1. Пневмобаллонды қосалқы жетек мүмкіндіктерін зерттеуге арналған стендтің жалпы түрі.
Figure 1. General view of the stand for studying the capabilities of a pneumatic bellows auxiliary drive.



1 – регулятор давления; 2 – электромагнитный клапан; 3 – манометр; 4 – отвод с шаровым клапаном; 5 – газовый счетчик.

Рис. 2. Общий вид системы подачи рабочего давления.
Сурет 2. Жұмыс қысымын беру жүйесінің жалпы түрі.
Figure 2. General view of the working pressure supply system.

Для автоматической отсечки подачи воздуха по мере достижения максимального хода раздвижки на рабочем столе стенда предусмотрен конечный выключатель, управляющий работой клапана подачи воздуха. При этом засекали время цикла наддува. Методика исследований включала следующие этапы:

- на первом этапе настраивалось давление в рабочем сифонном пневмобаллоне на уровне 0,1 МПа, при этом фиксировался максимальный ход раздвижки с установкой в этом положении конечного выключателя;



1 – предохранительный клапан; 2 – рукав для поддержания давления сопротивления; 3 – манометр.

Рис. 3. Общий вид системы обеспечения параметров сопротивления (давления).

Сурет 3. Кедергі (қысым) параметрлерін қамтамасыз ету жүйесінің жалпы түрі.

Figure 3. General view of the system for providing resistance (pressure) parameters.

- посредством шарового крана опорожнялся рабочий (исследуемый) пневмобаллон, а при подаче в баллон для имитации сопротивления раздвижки давления в 0,05 МПа последний возвращал рабочий в исходное состояние. После этого шаровый клапан должен был быть закрыт, а показания газового счетчика зарегистрированы;

- кнопкой «пуск» открывался электроклапан в системе подачи рабочего давления, и начинался отсчет цикла раздвижки до достижения максимального хода, при этом электроклапан отключал подачу избыточного давления. Время раздвижки фиксировалось. Плавным открыванием шарового клапана опорожнялся рабочий пневмобаллон через газовый счетчик, и также фиксировались показания;

- настраивая давление в системе подачи в рабочий пневмобаллон с шагом 0,05 Мпа, начиная с 0,15 МПа фиксировали время раздвижки и объем выхлопа. Каждый цикл повторяли три раза;

- на втором этапе поднимали давление в системе имитации сопротивления перемещению на 0,05 МПа до 0,1 МПа, и повторяли циклы наддува рабочего пневмобаллона, но уже с 0,15 МПа. Все данные фиксировали в рабочем журнале.

Удалось провести серию опытов с наддувом рабочего пневмобаллона до 0,5 МПа, а в баллоне для имитации сопротивления до 0,1 МПа. По результатам экспериментов построили графики зависимости расхода воздуха от давления в рабочем пневмобаллоне $V(p)$ (рис. 4) и времени раздвижки от давления $t(p)$ (рис. 5).

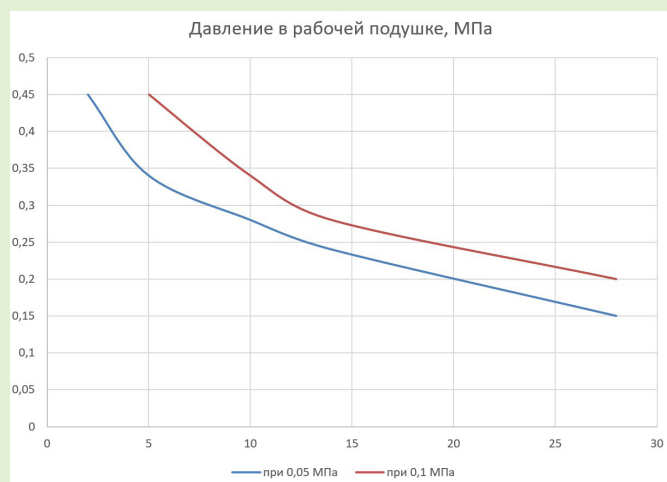


Рис. 4. График зависимости времени хода раздвижки от рабочего давления и давления в системе имитации сопротивления.

Сурет 4. Кедергіні имитациялау жүйесіндегі жұмыс қысымы мен қысымнан жылжыту барысының уақыт кестесі.

Figure 4. Graph of the dependence of the sliding stroke time on the operating pressure and pressure in the resistance simulation system.

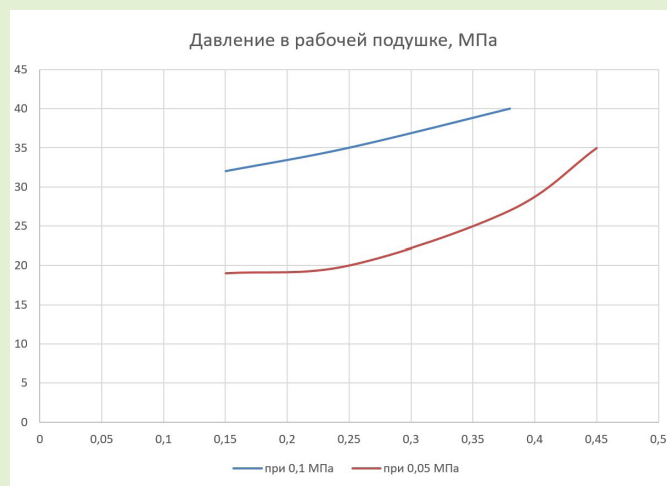


Рис. 5. График зависимости расхода воздуха от давления в рабочем сиффоне и давления в сиффоне для имитации сопротивления.

Сурет 5. Кедергіні имитациялау үшін жұмыс сиффондындағы қысымға және сиффондағы қысымға ауа шығысының тәуелділік кестесі.

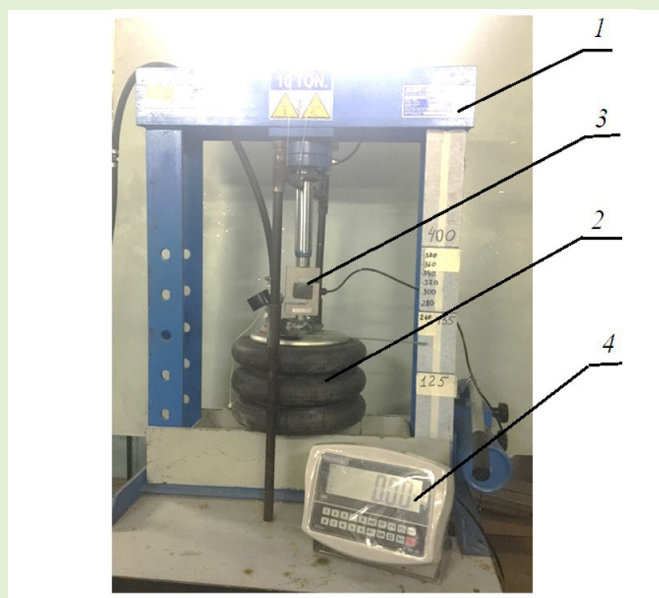
Figure 5. Graph of air flow versus pressure in the working bellows and pressure in the bellows to simulate resistance.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований были получены расходные (по воздуху) и раздвижные характеристики. В дальнейшем, по этим графикам можно будет определить, какими параметрами должна обладать цеховая пневмомагистраль для обеспечения работоспособности реечного пускового устройства. При необходимости может быть задействована рампа с баллонами для сжатого воздуха [9].

Принимая во внимание данные, полученные в процессе исследования параметров раздвижки, и то, что сиффонный пневмобаллон развивает максимальное толкающее усилие при использовании его максимального полезного объема, была разработана методика установления зависимости между толкающим усилием и избыточным давлением с использованием ручного гидравлического пресса на 100 кН.

Для проверки идеи был разработан стенд на базе десяти-тонного гидравлического пресса (рис. 6).



1 – гидравлический десяти-тонный пресс; 2 – тороидальный трехкамерный баллон; 3 – тензодатчик; 4 – Индикатор WI-19.

Рис. 6. Стенд для исследования силовых и раздвижных параметров тороидального 3-х камерного баллона.

Сурет 6. Тороидальды 3 камералық баллонның күштік және жылжымалы параметрлерін зерттеуге арналған стенд.

Figure 6. Stand for studying the power and expansion parameters of a toroidal 3-chamber cylinder.

Для замера раздвижного усилия баллона на торец штока гидроцилиндра через переходную шпильку установлен тензодатчик 3, который своей опорной пятой входит в шайбу, приваренную к кронштейну, закрепленному на верхней крышке баллона. Для исключения отклонения баллона от вертикали при раздвижке изготовлена поддерживающая система, состоящая из двух направляющих и двух кронштейнов, установленных на шток гидроцилиндра и верхнюю крышку баллона. В нижней части направляющие установлены в отверстия в столе.

Для оценки параметров раздвижки на правую стойку пресса наклеена лента бумажного скотча с нанесенными рабочими отметками (рисками), соответствующими положению баллона: в сжатом состоянии (125 мм), середине хода раздвижки (175 мм), исходной точке отсчета раздвижек (200 мм) и грациям хода раздвижки с интервалом

20 мм, максимальной высоте баллона (400 мм) в надутом положении.

Учитывая результаты предварительных исследований пневмоподпора для барабанных мельниц [10], работы были разделены на два этапа. На первом этапе исследований с пневмоподпором был определен ход раздвижки, при котором баллон генерирует максимальное усилие раздвижки. На втором этапе было исследовано влияние хода раздвижки на снижение пусковых токов.

Для построения графика зависимости между рабочим давлением в полости тороидального пневмобаллона и его толкающим усилием от хода раздвижки последний был размещен в рабочем пространстве пресса, как показано на рис. 6.

При первом шаге в баллон подали сжатый воздух под давлением 0,1 МПа. Под давлением сильфон раздвинулся, затем, подкачивая плунжерной парой пресса его рабочим штоком, поджали сильфон до размера 200 мм и сняли показания с динамометра. Последовательно повышая давление в полости сильфона с шагом 0,1 МПа и фиксируя усилие раздвижки, построили график $F(H)$ (рис. 7) – раздвижное усилие от хода раздвижки. Эти же эксперименты повторили для ходов раздвижки 220 мм, 240 мм, 260 мм, 280 мм, 300 мм, 320 мм, 340 мм, 360 мм и 380 мм.

Заключение

Таким образом, была достигнута возможность контроля толкающего усилия по давлению и определения хода раздвижки, при котором достигается максимальное толкающее усилие.

Анализ графика демонстрирует, что при увеличении хода раздвижки свыше 280 мм наблюдается значительное снижение усилия раздвижки и, соответственно, толкающего импульса при всех уровнях давления.

Следовательно, имеется возможность контролировать толкающее усилие на основе давления и устанавливать оптимальный ход раздвижки для достижения максималь-

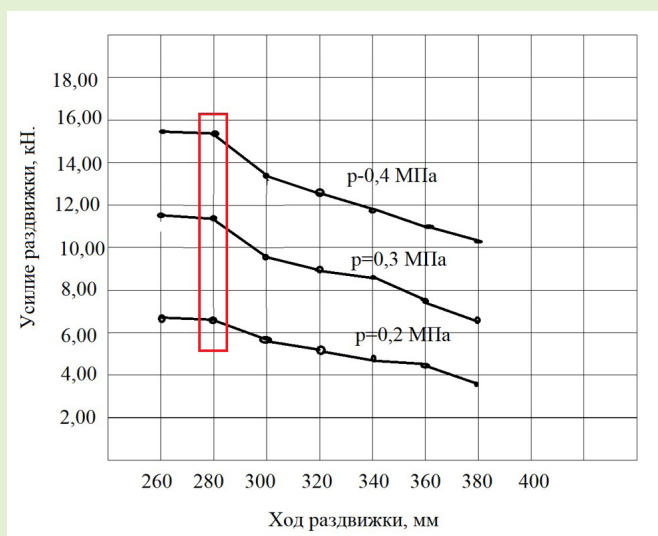


Рис. 7. График зависимости усилия раздвижки от хода раздвижки.

Сурет 7. Жылжыту күшінің жылжыту барысына тәуелділік кестесі.

Figure 7. Graph of the dependence of the sliding force on the sliding stroke.

ного толкающего усилия. Нет необходимости устанавливать момент пуска в точке перелома, поскольку толкающее усилие может увеличиться на 10% при уменьшении хода раздвижки на 20 мм.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке МВОН РК по гранту ИРН AP22684027 «Разработка и исследование инновационной технологии и техники для повышения энергоэффективности технологических машин с тяжелым ротором на пусковых режимах».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Альтшуллер М.И. Опыт по разработке и внедрению систем плавного пуска высоковольтных электродвигателей переменного тока: ООО «Экспозиция нефть газ», Республика Татарстан, 2009, С. 32-36 (на русском языке)
2. Alfred R. Высокоэффективная пневматическая приводная система, использующая полуоборотные приводы лопастного типа. // Электроника и энергетика. 2021. Т. 34. №3. С. 415-433 (на английском языке)
3. Крупник Л.А. Тихоходный привод на базе пневмобаллонов. / Л.А. Крупник, К.К. Елемесов, Б.С. Бейсенов, Е.Е. Сарыбаев. // Горный журнал Казахстана. 2018. №10. С. 40-43 (на русском языке)
4. Krupnik L. Использование пневматических сильфонов для тихоходных приводных механизмов. / Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. // Международный журнал научных и инженерных исследований. 2018. Т. 9. Вып. 11. С. 1106-1112 (на английском языке)
5. Хайруллаев Д.Х., Бейсенов Б.С., Сарыбаев Е.Е. Разработка и исследование параметров пневмобаллонного привода с прерывистым (пошаговым) циклом движения в качестве вспомогательного привода барабанных мельниц. // Труды Междун. научн.-практ. конф. «Сатпаевские чтения – 2021», – Т. 1. – С. 1230-1233 (на русском языке)
6. Привод поворота барабана мельницы: Инновационный патент РК №35704; заявл.09.03.2021; опублик. 10.06.2022. Бюл. №23. 4 с. (на русском языке)
7. Пневмодвигатель с фрикционно-обгонной муфтой: Инновационный патент РК №34086; заявл. 20.06.2018; опублик. 27.12.2019. Бюлл. №52. 4 с. (на русском языке)

8. Храповой привод: Инновационный патент РК №31421; заявл. 13.03.2015; опубл. 15.08.2016. Бюлл. №9. 5 с. (на русском языке)
9. Łukasz Magdziak, Ireneusz Malujda, Dominik Wilczyński, Dominik Wojtkowiak Концепция улучшения позиционирования пневмопривода в качестве привода манипулятора. // XXI Международная словацко-польская конференция «Машинное моделирование 2016»: Процесс инжиниринга, 2017. – №177. – С. 331-338 (на английском языке)
10. Krupnik L. Использование пневматических сильфонов для тихоходных приводных механизмов / Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. // Международный журнал научных и инженерных исследований. 2018. Т. 9. Вып. 11. С. 1106-1112 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Альтишллер М.И. Жогары вольтты айнымалы ток қозғалтқыштары үшін жұмсақ іске қосу жүйесін әзірлеу және енгізу тәжірибесі: ООО «Экспозиция нефть газ», Татарстан Республикасы, 2009, Б. 32-36 (орыс тілінде)
2. Alfred R. Қалақ түріндегі жартылай айналымды жетектерді пайдаланатын тиімділігі жогары пневматикалық жетек жүйесі. // Электроника және энергетика. 2021. Т.34. №3. Б. 415-433 (ағылшын тілінде)
3. Крупник Л.А. Пневмобаллондар базасындағы тыныш жүретін жетек. / Л.А. Крупник, К.К. Елемесов, Б.С. Бейсенов, Е.Е. Сарыбаев. // Қазақстанның тау-кен журналы. 2018. №10. Б. 40-43 (орыс тілінде)
4. Krupnik L. Баяу жүрісті жетекті механизмдер үшін пневматикалық сильфондарды пайдалану. / Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. // Халықаралық ғылыми және инженерлік зерттеулер журналы. 2018. Т. 9. Шығ. 11. Б. 1106-1112 (ағылшын тілінде)
5. Хайруллаев Д.Х., Бейсенов Б.С., Сарыбаев Е.Е. Барабан диірмендерінің қосалқы жетегі ретінде үзік (қадамдық) қозғалыс циклі бар пневмобаллон жетегінің параметрлерін әзірлеу және зерттеу. // «Сәтбаев оқулары – 2021» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының еңбектері, – Т. 1. – Б. 1230-1233 (орыс тілінде)
6. Диірмен барабанының бұрылу жетегі: ҚР инновациялық патенті № 35704; өтін. 09.03.2021; жариял. 10.06.2022. Бюлл. №23. 4 б. (орыс тілінде)
7. Фрикциялық-басып озу муфтасы бар пневматикалық қозғалтқыш: ҚР инновациялық патенті №34086; өтін. 20.06.2018; жариял. 27.12.2019. Бюлл. №52. 4 б. (орыс тілінде)
8. Қырылдақты жетек: ҚР инновациялық патенті №31421; өтін. 13.03.2015; жариял. 15.08.2016. Бюлл. №9. 5 б. (орыс тілінде)
9. Łukasz Magdziak, Ireneusz Malujda, Dominik Wilczyński, Dominik Wojtkowiak. Манипулятор жетегі ретінде пневматикалық жетекті позициялауды жақсарту тұжырымдамасы. // «Машиналық модельдеу 2016» XXI халықаралық словак-поляк конференциясы: Инженеринг үрдісі, 2017. – №177. – Б. 331-338 (ағылшын тілінде)
10. Krupnik L. Баяу жүрісті жетекті механизмдер үшін пневматикалық сильфондарды пайдалану. / Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. // Халықаралық ғылыми және инженерлік зерттеулер журналы. 2018. Т. 9. Шығ. 11. Б. 1106-1112 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Altshuller M.I. Opyt po razrabotke i vnedreniju sistem plavnogo puska vysokovol'tnyh jelektrovdigatelej peremennogo toka. // ООО «Jekspozicija Neft' Gaz», Respublika Tatarstan 2009, P. 32-36 [Altshuller M.I. Experience in the development and implementation of soft start systems for high-voltage AC motors. // LLC «Exposition Oil Gas», Republic of Tatarstan, 2009, P. 32-36 (in Russian)]
2. Alfred Rufer. A high efficiency pneumatic drive system using vane-type semi-rotary actuators. // Electronics and Energetics. 2021. Vol. 34. №3. P. 415-433 (in English)
3. Krupnik L.A. Tihohodnyj privod na baze pnevmoballonov. / Krupnik L.A., Yelemesov K.K., Beisenov B.S., Sarybaev E.E. // Gornyj zhurnal Kazahstana. 2018. №10. P. 40-43 [Krupnik L.A. Low-speed drive based on pneumatic cylinders. / Krupnik L.A., Yelemesov K.K., Beisenov B.S., Sarybaev E.E. // Mining Journal of Kazakhstan. 2018. №10. P. 40-43] (in Russian)
4. Krupnik L. Use of air bellows for low-speed drive mechanisms. / Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. // International Journal of Scientific & Engineering Research. 2018. Vol. 9 (11). P. 1106-1112 (in English)
5. Hajrullaev D.H., Bejsenov B.S., Sarybaev E.E. Razrabotka i issledovanie parametrov pnevmoballonogo privoda s preryvistym (poshagovym) ciklom dvizhenija v kachestve

- vspomogatel'nogo privoda barabannyh mel'nic. // Trudy Mezhdun. nauchn.-prakt. konf. «Satpayevskie chtenija – 2021», – T. 1. – S. 1230-1233 [Hajrullaev D.H., Beisenov B.S., Sarybaev E.E. Development and research of parameters of a pneumatic cylinder drive with an intermittent (step by-step) cycle of movement as an auxiliary drive of drum mills. // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Satpayev readings – 2021», Vol. 1. – P. 1230-1233] (in Russian)*
6. *Privod povorota barabana melnicy: Innovacionnyj patent RK №35704; zayavl.09.03.2021; opubl. 10.06.2022. Byul. №23. 4 s. [Mill drum rotation drive: Innovative patent of the Republic of Kazakhstan No. 35704; statement 03.09.2021; published 06.10.2022. Bulletin No.23. 4 p.] (in Russian)*
 7. *Pnevmodvigatel's frikcionno-obgonnoj muftoj: Innovacionnyj patent RK №34086; zayavl. 20.06.2018; opubl. 27.12.2019. Byull. №52. 4 s. [Pneumatic motor with friction-overrunning clutch: Innovative patent of the Republic of Kazakhstan №34086; statement 20.06.2018; published 27.12.2019. Bulletin №52. 4 p.] (in Russian)*
 8. *Hrapovoj privod: Innovacionnyj patent RK №31421; zayavl. 13.03.2015; opubl. 15.08.2016. Byull. №9. 5 s. [Ratchet drive: Innovative patent of the Republic of Kazakhstan №31421; statement 13.03.2015; published 15.08.2016. Bulletin №9. 5 p.] (in Russian)*
 9. *Lukasz Magdziak, Ireneusz Malujda, Dominik Wilczyński, Dominik Wojtkowiak. Concept of improving positioning of pneumatic drive as drive of manipulator. // XXI International Slovak-Polish Conference «Machine Modeling and Simulations 2016»: Procedia Engineering, 2017. – №177. – P. 331-338 (in English)*
 10. *Krupnik L. Use of air bellows for low-speed drive mechanisms. / Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. // International Journal of Scientific & Engineering Research. 2018. Vol. 9 (11). P. 1106-1112 (in English)*

Сведения об авторах:

Бейсенов Б.С., к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), b.beisenov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-6501-6746>

Тагауова Р.З., преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), r.tagauova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-4887-2994>

Бортебаев С.А., к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), s.bortebayev@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-8761-3429>

Сарыбаев Е.Е., постдокторант ОП «Цифровая инженерия машин и оборудования», старший преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), sarybaev.erjan@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6665-4558>

Авторлар туралы мәліметтер:

Бейсенов Б.С., т.ғ.к., «Технологиялық машиналар және жабдыктар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Тагауова Р.З., «Технологиялық машиналар және жабдыктар» кафедрасының оқытушысы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Бортебаев С.А., т.ғ.к., «Технологиялық машиналар және жабдыктар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Сарыбаев Е.Е., «Машиналар мен жабдыктардың цифрлық инженериясы» ОБ постдокторанты, «Технологиялық машиналар және жабдыктар» кафедрасының аға оқытушысы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Beisenov B.S., Ph.D., Associate Professor of the Department of Technological Machines and equipment, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Tagauova R.Z., Lecturer of the Department of «Technological Machines and equipment», Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Bortebayev S.A., Ph.D., Associate Professor of the Department of Technological Machines and equipment, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Sarybayev Ye. Ye., postdoctoral student of the EP «Digital Engineering of Machines and Equipment», Senior Lecturer of the Department of «Technological Machines and equipment», Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)



2024

25-27 сентября
Казахстан, Алматы



KIOGE
OIL&GAS KAZAKHSTAN

29-я Казахстанская
международная выставка и конференция

«Нефть и Газ»



Подробная информация:

www.kioge.kz



kioge.kz



kiogekazakhstan



Код МРНТИ 52.45.19

А.Р. Мамбеталиева¹, *Г.К. Макашева¹, Т.Ш. Тусупбекова¹, А.О. Мугинов²¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),²ТОО «КазГидроМедь» (Караганда, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНЫХ ХВОСТОВ

Аннотация. Отвальные медные хвосты хвостохранилищ Жезказганской обогатительной фабрики являются труднообогащаемыми. Трудности в обогащении данных хвостов связаны с особенностями их вещественного состава: тонкая зернистость и эмульсионная вкрапленность рудных минералов друг в друге, наличие большого количества флотационно-активной пустой породы, высокое содержание тонкодисперсной и субмикроскопической меди в отвальных хвостах. Для снижения флотационной активности пустой породы было принято решение включить в цикл обогащения пропарку для удаления избыточной концентрации реагента-собирателя с поверхности отвальных хвостов. Увеличение температуры пульпы в цикле основной медной флотации до 40 °С позволяет увеличить массовую долю меди в медном концентрате с 0,65% до 1,23%, при этом повышается извлечение меди и серебра в медном концентрате на 43,25% и 51,25%.

Ключевые слова: обогащение полезных ископаемых, флотация, тепловое кондиционирование, отвальные хвосты, окисленные минералы, эффективность обогащения, доизмельчения, гранулометрический анализ.

Мыс қалдықтарының байыту технологиясының көрсеткіштеріне жылумен кондиционерлеудің әсерін зереттеу

Андатпа. Жезказган байыту қалдық қоймаларының үйінді мыс қалдықтарын байыту қиын болып табылады. Бұл қалдықтардың байытудағы қиындықтар олардың материалдық құрамының ерекшеліктерімен байланысты: кенді минералдардың бір-біріне жұқа түйіршіктілігі және эмульсиялық қосылуы, флотациялық белсенді бос минералдарының көп болуы, үйінді құйрықтарындағы жұқа дисперсті және субмикроскопиялық мыстың жоғары мөлшері. Бос минералдардың флотациялық белсенділігін төмендету үшін байыту цикліне реагент-жинағыштың артық концентрациясын үйінді құйрықтарының бетінен алып тастау үшін жылумен кондиционерлеуді қосу туралы шешім қабылданды. Негізгі мыс флотациясы цикліндегі целлюлоза температурасының 40 °С дейін жоғарылауы мыс концентратындағы мыстың массалық үлесін 0,65%-дан 1,23%-ға дейін арттыруға мүмкіндік береді, ал мыс концентратындағы мыс пен күмісті алу 43,25% және 51,25%-ға артады.

Түйінді сөздер: пайдалы қазбаларды байыту, флотация, жылумен кондиционерлеу, қалдықтар, тотыққан минералдар, байыту тиімділігі, қайта ұнтақтау, бөлшектердің құрамын талдау.

Investigation of the influence of thermal conditioning on the technological parameters of copper tailings enrichment

Abstract. The dump copper tailings of the Zhezkazgan processing plant are difficult to enrich. Difficulties in enriching these tailings are associated with the peculiarities of their material composition: fine grain and emulsion inclusions of ore minerals in each other, the presence of a large amount of flotation-active waste rock, high content of fine and submicroscopic copper in the tailings. To reduce the flotation activity of the waste rock, it was decided to include steaming in the enrichment cycle to remove excess concentrations of the collector reagent from the surface of the tailings. Increasing the pulp temperature in the main copper flotation cycle to 40 °C allows increasing the mass fraction of copper in copper concentrate from 0.65% to 1.23%, while increasing the extraction of copper and silver in copper concentrate by 43.25% and 51.25%.

Key words: mineral processing, flotation, thermal conditioning, waste tailings, oxidised minerals, enrichment efficiency, additional grinding, particle size analysis.

Введение

Металлы играют важную роль в переходе к «зеленым» технологиям, например, в электромобилях с низким уровнем выбросов и в системах хранения энергии [1].

Флотация является основной технологией обогащения полезных ископаемых, применяемой при производстве угля, цинка, свинца, меди, никеля, молибдена и других металлов. Показано, что на ее долю приходится 85% добываемых руд. Однако в процессе флотации образуются отвальные хвосты, что является серьезной экологической проблемой, заключающейся в выделении кислотности из металлов из оставшихся сульфидов, не имеющих экономической ценности из-за воздействия воздуха и дождевой воды [2], а также в ряде рисков, связанных с физической и химической стабильностью системы, что может привести к катастрофическим авариям [4].

В последние годы ревалоризация хвостохранилищ привлекла внимание научного и инженерного сообществ [5], например, в качестве источника критически важного сырья [6], а также для синтеза строительных материалов, таких как керамика [7], цемент [8] или кирпич. Добавление этого фактора в цепочку создания стоимости в горнодобывающей промышленности является эффективным способом перехода отрасли к экономике замкнутого цикла и повторному использованию материалов. Недавние исследования показывают, что переработка хвостов может снизить воздействие горнодобывающей промышленности и в то же время быть прибыльной [9].

Например, разработаны исследования по изучению методов флотации для переработки отвальных хвостов [10]. Кроме того, с экономической точки зрения переработка используется как способ повышения эффективности использования ресурсов [11] или перехода к безотходному процессу. Более того, некоторые компании уже несколько лет работают в соответствии с принципами устойчивого развития, добывая ценные элементы, например, например, Minera Valle Central в Чили.

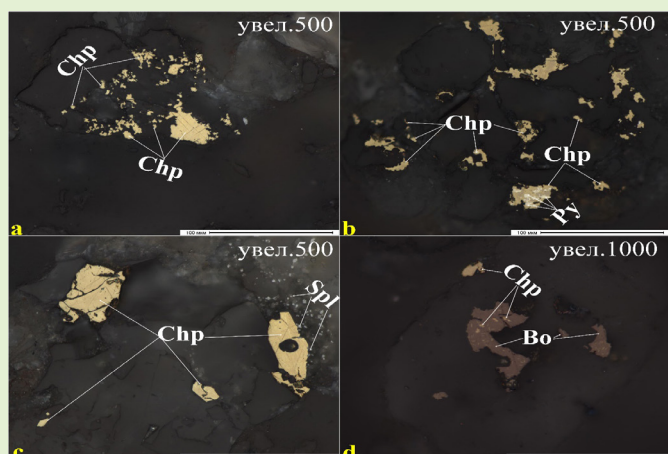
Целью исследования является разработка оптимальной технологии переработки отвальных хвостов Жезказганской обогатительной фабрики с применением способа пропарки для удаления избыточной концентрации реагента-собирателя с его поверхности и доизменение до необходимой крупности.

Материалы и методы

Объект исследования – пробы отвальных хвостов обогащения Жезказганской обогатительной фабрики.

Вещественный состав пробы определялся масс-спектральным анализом с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS), содержание золота и серебра – пробирным анализом.

Содержание основных ценных компонентов составило: меди – 0,147%, цинка – 0,127%, свинца – 0,069%, серебра – 3,15 г/т, золота – ниже порога обнаружения. Содержание серы составило 0,19%, железа общего – 2,41%. Содержание породных компонентов составило: двуокиси



Chp – халькопирит; *Py* – пирит; *Spl* – сфалерит;
Bo – борнит.

Рис. 1. Характеристика выделений халькопирита.
Увел. 500/1000.

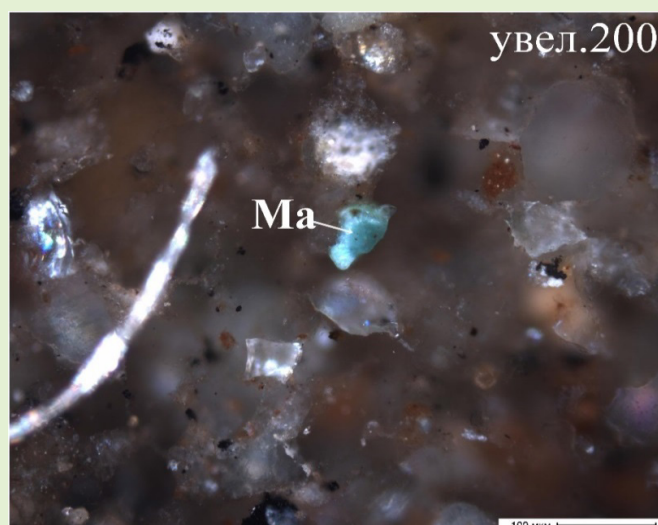
Сурет 1. Халькопириттың сипатамасы. 500/1000
ұлғайту.

Figure 1. Characteristics of chalcopyrite secretions.
Magnification of 500/1000.

кремния – 57,77%, оксида алюминия – 12,32%, оксида кальция – 4,55% и оксида магния – 1,98%.

Изучение рудных минералов проводилось в отраженном свете в полированных аншлифах-брикетах с применением микроскопа OLYMPUS BX 53, видеокамеры SIMAGIS XS-3CU и программного обеспечения для анализа изображений Минерал С7 компании SIAMS.

Оптическими методами исследований (визуально) было установлено, что рудная минерализация исследуемой про-



Ma – малахит.

Рис. 2. Характеристика выделений малахита.
Увел. 200.

Сурет 2. Малахиттың сипатамасы. 200 ұлғайту.
Figure 2. Characteristics of malachite secretions.
Magnification of 200.

бы относительно ее нерудной составляющей весьма незначительна. Ориентировочное соотношение рудных и нерудных минералов составляет 2:98.

Из медных минералов наиболее распространен халькопирит, который почти всегда ассоциирует с породными минералами, редко с борнитом. Борнит встречается в виде единичных выделений, часто замещаемый ковеллином.

Все рудные минералы находятся в сростках с породными минералами. Несмотря на достаточно высокую

Химический анализ пробы

Түйіршіктер құрамы бойынша мыстың фазалық талдау

Phase analysis of copper by size classes

Таблица 1

Кесте 1

Table 1

Класс, мм	Выход, %	Содержание <i>Cu</i> , %					Распределение <i>Cu</i> , %				
		всего	сульф. минералы	окисленные минералы			всего	сульф. минералы	окисленные минералы		
				всего	малахит	хризокolla			всего	малахит	хризокolla
-0,5+0,2	7,46	0,26	0,10	0,16	0,14	0,02	13,33	5,07	8,26	7,22	1,04
-0,2+0,1	27,39	0,12	0,05	0,08	0,06	0,02	23,08	8,75	14,33	10,42	3,91
-0,1+0,071	10,66	0,10	0,05	0,05	0,03	0,02	6,96	3,26	3,70	2,17	1,52
-0,071+0,045	12,40	0,10	0,04	0,06	0,03	0,02	8,01	3,29	4,72	2,87	1,85
-0,045+0	42,08	0,17	0,06	0,11	0,08	0,03	48,62	17,73	30,89	22,88	8,01
Исходная проба хвостов	100,0	0,15	0,056	0,091	0,067	0,024	100,0	38,10	61,90	45,57	16,33

степень окисленности сырья, окисленные минералы меди практически не визуализируются, очевидно вследствие переизмельчения.

Характерной особенностью описываемых препаратов является наличие значительного количества углеродистых выделений в виде механической примеси в количестве 8-10%.

Для определения степени окисленности хвостов в различных классах крупности выполнен фазовый анализ меди по классам (таблица 1).

Проба на 61,90% представлена окисленными минералами, на 38,10% – сульфидными. Наибольшее распределение окисленных форм отмечено в классе крупности -0,045+0 мм – 30,89% (или 49,90% всех окисленных минералов), что объясняется высокой хрупкостью окисленных минералов.

Результаты и обсуждение

При подготовке отвальных хвостов для схемы флотации было принято решение включить удаление избыточной концентрации реагента-собирателя с его поверхности (десорбции) и доизмельчение до необходимой крупности. От качества узла подготовки зависят эффективность его последующего разделения, следовательно, и технико-экономические показатели обогащения.

Одним из способов десорбции коллекторной пленки является способ пропарки с предварительным термическим разложением сульфгидрильного собирателя, обычно ксантогената, при температуре 80-90 °С в течение 30-60 минут [12]. В Японии для удаления избытка реагентов с поверхности коллективного концентрата широко используют тепловую обработку пульпы паром при 60-70 °С с последующим разделением коллективных концентратов бесцианидными технологиями. В работе рассмотрено воздействие тепловой обработки на десорбцию коллекторной пленки с поверхности минеральных зерен. Рассмотрены следующие виды тепловой обработки: подогрев материала через стенку сосуда и пропарка путем барботирования острым паром пробы.

Результаты, приведенные на рисунке 4, показывают, что при повышении температуры пульпы до 40 °С удается значительно снизить выход концентрата (с 9,524% до 4,03%), при этом повышается извлечение меди и серебра в концентрат и составляет 2,21% (с 41,04% до 43,25%) и 2,32% (с 48,93% до 51,25%). Дальнейшее повышение температуры пульпы приводит к снижению извлечения меди в концентрате.

Условия проведения опытов

Тәжірибе жүргізу шарттары

Conditions for conducting experiments

Операция, продукт	Содержание класса, %	Время флотации (t), мин	ОВП, mV	Расход реагентов, г/т			
				Na ₂ SiO ₃	Na ₂ S	Кх	МИБК
Измельчение, 0,071 мм	85	-	-	250	-	-	-
Пропарка, °С	-	-	-	-	-	-	-
Основная флотация	-	10	-200 ÷ -250	-	700	70	20



Рис. 3. Технологическая схема проведения лабораторных тестовых опытов.
Сурет 3. Зертханалық сынақ тәжірибелерін жүргізудің технологиялық схемасы.
Figure 3. Technological scheme of laboratory test experiments.

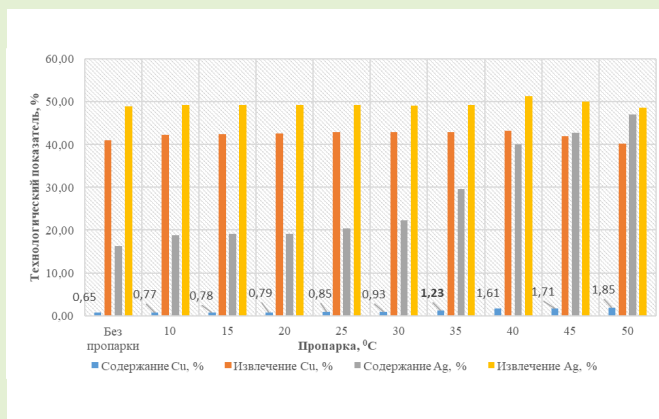


Рис. 4. Результаты тестов по определению влияния теплового кондиционирования на технологический показатель.
Сурет 4. Жылу кондиционерінің технологиялық көрсеткішке әсерін анықтау бойынша тест нәтижелері.
Figure 4. The results of tests to determine the effect of thermal conditioning on the technological indicator.

Таблица 2

Кесте 2

Table 2

Таблица 3

Результаты расчета эффективности обогащения

Кесте 3

Байыту тиімділігін есептеу нәтижелері

Table 3

The results of the calculation of the enrichment efficiency

Пропарка, °С	Эффективность обогащения, %	
	Cu	Ag
Без пропарки	31,57	39,41
10	34,05	40,97
15	34,32	41,11
20	34,48	41,08
25	35,33	41,61
30	35,98	42,19
35	37,74	44,02
40	39,28	47,22
45	38,38	46,34
50	37,06	45,39

Для выбора оптимальной температуры пульпы в таблице 3 приведены сравнительные результаты расчета эффективности обогащения.

Из результатов таблицы 3 следует, что наиболее высокая эффективность обогащения меди и серебра достигается при температуре пульпы 40 °С.

Заключение

Особенности минералогического состава лежалых хвостов, в частности весьма тонкая вкрапленность руд-

ных минералов (халькопирит – 0,001-0,065 мм, ковеллин до 0,055 мм и сфалерит 0,001-0,015 мм), а также наличие тесных сростков минералов меди затрудняет повышение качества концентрата и его селективное разделение.

Для повышения качественно-количественных показателей проведены лабораторные тестовые опыты теплового кондиционирования питания основной медной флотации. По результату тестовых опытов при температуре пульпы 40 °С снижается выход концентрата на 5,49%, при этом повышается извлечение меди – 43,25% и серебра – 51,25%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арвинд Упадхьяй. Исследуем барьеры и факторы, препятствующие внедрению методов экономики замкнутого цикла в горнодобывающей промышленности. / Арвинд Упадхьяй, Тим Лэйнг, Викас Кумар, Манодж Дора. // Политика в области ресурсов. 2021. Т. 72. ст.№102037 (на английском языке)
2. Гонсалес-Мендес Б. Распределение тяжелых металлов, загрязняющих почву вблизи заброшенной шахты на северо-западе Мексики. / Б. Гонсалес-Мендес, Р. Вебстер, Р. Ларедо-Порталус, Ф. Малина-Фринет, Р. Джеллул. // Экологические науки о Земле. 2022. Т. 81. ст.№176 (на английском языке)
3. Кософф Д. Хвостохранилища шахт: характеристики, разрушение, воздействие на окружающую среду и меры по восстановлению. / Д. Кософф, У.Э. Дуббин, М. Альфредссон, С.Дж. Эдвардс, М.Г. Маклин, К.А. Хадсон-Эдвардс. // Прикладная геохимия. 2014. Т. 51. С. 229-245 (на английском языке)
4. Пяйви Киннунен. Обзор стратегий экономии на отходах горнодобывающей промышленности. / Пяйви Киннунен, Марьяна Карху, Лина Ли-Рантала, Пяйви Кивиките-Репонен, Ярно Ханнинен. // Экологически чистая инженерия и технологии. 2022. Т. 8. ст.№100499 (на английском языке)
5. Наталья Ярая. Возможность переработки шахтных хвостов для получения важного сырья с использованием анализа реальных вариантов. / Наталья Ярая, Тендерс Рамирес, Андрей Краславский, Луис А. Цистерна. // Журнал экологического менеджмента. 2021. Т. 284. ст.№112060 (на английском языке)
6. Ф.Л. да Силва, Ф.Г.С. Араужо, М.П. Тейшейра, Р.К. Геймс, Ф.Л. фон Крюгер. Исследование процесса извлечения и переработки отходов обогащения железной руды для производства керамики. // Материалы Международной выставки керамики, 2014. – Т. 40. – Вып. 10. – Ч. В. – С. 16085-16089 (на английском языке)
7. Ахад Барзегар Гази. Использование отходов добычи меди в качестве частичной замены цемента в бетонном строительстве. / Ахад Барзегар Гази, Ахмад Джамишиди-Занджани, Хамид реза

Неджати. // *Строительство и строительные материалы*. 2022. Т. 317. ст.№125921 (на английском языке)

8. Чжиган Инь. Оценка возможности извлечения меди из хвостохранилищ методом флотации путем проведения стендовых, пусконаладочных и промышленных испытаний. / Чжиган Инь, Вэй Сун, Юэхуа Ху, Чуньхуа Чжан, Цинцзюнь Хуан, Яньпин Ву. // *Журнал «Чистое производство»*. 2018. Т. 171. С. 1039-1048 (на английском языке)
9. Пьер Паоло Манка. Флотация хвостов обогащения сфалеритовых руд как метод рекультивации. / Пьер Паоло Манка, Джорджио Массаччи, Давид Пинтус, Джулио Согос. // *Разработка полезных ископаемых*. 2021. Т. 165. ст.№106862 (на английском языке)
10. Касонго К.Б. Статистическое исследование параметров флотации для извлечения меди из хвостов сульфидной флотации. / Касонго К.Б., М. Ванг М.Х., Нгамба Геллорд, Мервей Кимпиаб, К. Фабрис Капьямба. // *Результаты в инженерном деле*. 2021. Т. 9. ст.№100207 (на английском языке)
11. Мальте Дробе. Технологические испытания, скорректированные модели затрат и экономика переработки хвостов медных рудников в Чили. / Мальте Дробе, Франк Хаубрих, Мариано Фахардо, Хервиг Марбл. // *Металлы*. 2021. Т. 11. С. 1031-1052 (на английском языке)
12. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. Том 3. Книга 2. Рb, Рb-Cu, Zn, Рb-Zn, Рb-Cu-Zn, Cu-Ni, Co-, Bi-, Sb-, Hg- содержащие руды: М: МГГУ, 2005, С. 470 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Арвинд Упадхай. Тау-кен өнеркәсібінде айналмалы экономика тәжірибесін енгізудегі кедергілер мен фактілерді зерттеу. / Арвинд Упадхай, Тим Лаинг, Викас Кумар, Маной Дора. // *Ресурстар саясаты*. 2021. Т. 72. №102037 мақ. (ағылшын тілінде)
2. Б. Гонсалес-Мендес. Мексиканың Солтүстік-Батысындағы қараусыз қалған шахтаның жанындағы топырақты ластайтын ауыр металдардың таралуы. / Б. Гонсалес-Мендес, Р. Вебстер, Р. Ларедо-Порталус, Ф. Малина-Фринет, Р. Джеллул. // *Экологиялық жер туралы ғылымдар*. 2022. Т. 81. №176 мақ. (ағылшын тілінде)
3. Д. Кософф. Шахта қалдықтарының бөгеттері: сипаттамалары, істен шығуы, қоршаған ортаға әсері және қалпына келтіру. / Д. Кософф, В.Э. Дуббин, М. Альфредссон, С.Дж. Эдвардс, М.Г. Маклин, К.А. Хадсон-Эдвардс. // *Қолданбалы геохимия*. 2014. Т. 51. Б. 229-245 (ағылшын тілінде)
4. Пайви Киннунен. Тау-кен қалдықтарын өндірудің айналмалы экономикалық стратегияларына шолу. / Пайви Киннунен, Маржана Карху, Лина Ли-Рантала, Пайви Кивиките-Репонен, Ярно Ханнинен. // *Таза инженерия және технологиялар*. 2022. Т. 8. №100499 мақ. (ағылшын тілінде)
5. Наталья Ярая. Нақты опцияларды талдауды қолдана отырып, маңызды шикізатты алу үшін шахта қалдықтарын қайта өңдеудің орындылығы. / Наталья Ярая, Тендеры Рамирес, Андрей Краславский, Луис А. Цистерна. // *Экологиялық менеджмент журналы*. 2021. Т. 284. №112060 мақ. (ағылшын тілінде)
6. Ф.Л. да Силва, Ф.Г.С. Арауджо, М.П. Тейшейра, Р.К. Геймс, Ф.Л. фон Крюгер. Керамика өндірісі үшін темір рудасының концентрациясынан қалдықтарды алу және қайта өңдеуді зерттеу. // *Халықаралық керамика көрмесінің материалдары*, 2014. – Т. 40. – Шығ. 10. – Бөл. В. – Б. 16085-16089 (ағылшын тілінде)
7. Ахад Барзегар Гази. Бетон құрылысында цементті ішінара алмастырғыш ретінде мыс кенішінің қалдықтарын кәдеге жарату. / Ахад Барзегар Гази, Ахмад Джамишиди-Занджани, Хамид реза Неджати. // *Құрылыс және құрылыс материалдары*. 2022. Көл. 317. №125921 мақ. (ағылшын тілінде)
8. Жиган Инь. Мысты қалдық қоймаларынан флотация әдісімен қалпына келтіру, стендтік шкала, іске қосу және өндірістік сынақтар арқылы бағалау. / Жиган Инь, Вэй Сун, Юэхуа Ху, Чунхуа Чжан, Цинцзюнь Хуан, Яньпин Ву. // *Таза өндіріс журналы*. 2018. Т. 171. Б. 1039-1048 (ағылшын тілінде)
9. Пьер Паоло Манка. Қалпына келтіру әдісі ретінде сфалерит кенішінің қалдықтарын флотациялау. / Пьер Паоло Манка, Джорджио Массаччи, Дэвид Пинтус, Джулио Согос. // *Пайдалы қазбалар инженериясы*. 2021. Көл. 165. №106862 мақ. (ағылшын тілінде)
10. Касонго К.Б. Сульфидті флотациялық қалдықтардан мыс алу үшін флотация параметрлерін статистикалық зерттеу. / Касонго К.Б., М. Ван М.Х., Нгамба Геллорд, Мервейл Кимпиаб, К. Фабрис Капиамба. // *Инженерлік қызметтің нәтижелері*. 2021. Т. 9. №100207 мақ. (ағылшын тілінде)
11. Мальте Дробе. Өңдеу сынақтары, шығындардың түзетілген модельдері және Чилидегі мыс кеніштерінің қалдықтарын қайта өңдеу экономикасы. / Мальте Дробе, Фрэнк Хаубрих, Мариано Фахардо, Хервиг Марбл. // *Металдар*. 2021. Т. 11. Б. 1031-1052 (ағылшын тілінде)
12. Абрамов А.А. Түсті металл кендерін өңдеу және байыту технологиясы. 3 Том. Кітап 2. Rb, Рb-Cu, Zn, Рb-Zn, Рb-Cu-Zn, Cu-Ni, Co-, Bi-, Sb-, Nd құрамында кендер бар: М: МГМУ, 2005, Б. 470 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Arvind Upadhyay. Exploring barriers and drivers to the implementation of circular economy practices in the mining industry. / Arvind Upadhyay, Tim Laing, Vikas Kumar, Manoj Dora. // *Resources Policy*. 2021. Vol. 72. Art. №102037 (in English)
2. B. González-Méndez. Distribution of heavy metals polluting the soil near an abandoned mine in Northwestern Mexico. / B. González-Méndez, R. Webster, R. Loredó-Portales, F. Molina-Freaner, R. Djellouli. // *Environmental Earth Sciences*. 2022. Vol. 81. Art. №176 (in English)
3. Kossoff D. Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. / D. Kossoff, W.E. Dubbin, M. Alfredsson, S.J. Edwards, M.G. Macklin, K.A. Hudson-Edwards. // *Applied Geochemistry*. 2014. Vol. 51. P. 229-245 (in English)
4. Päivi Kinnunen. A review of circular economy strategies for mine tailings. / Päivi Kinnunen, Marjaana Karhu, Elina Yli-Rantala, Päivi Kivikytö-Reponen, Jarno Mäkinen. // *Cleaner Engineering and Technology*. 2022. Vol. 8. Art. №100499 (in English)
5. Natalia Araya. Feasibility of re-processing mine tailings to obtain critical raw materials using real options analysis. / Natalia Araya, Yendery Ramirez, Andrzej Kraslawski, Luis A. Cisternas. // *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 284. Art. №112060 (in English)
6. F.L. da Silva, F.G.S. Araújo, M.P. Teixeira, R.C. Gomes, F.L. von Krüger. Study of the recovery and recycling of tailings from the concentration of iron ore for the production of ceramic. // *Ceramics International*, 2014. – Vol. 40. – Issue 10. – Part B. – P. 16085-16089 (in English)
7. Ahad Barzegar Ghazi, Ahmad Jamshidi-Zanjani, Hamidreza Nejati. Utilization of copper mine tailings as a partial substitute for cement in concrete construction. / Ahad Barzegar Ghazi, Ahmad Jamshidi-Zanjani, Hamidreza Nejati. // *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 317. Art. №125921 (in English)
8. Zhigang Yin. Evaluation of the possibility of copper recovery from tailings by flotation through bench-scale, commissioning, and industrial tests. / Zhigang Yin, Wei Sun, Yuehua Hu, Chenhu Zhang, Qingjun Guan, Kangping Wu. // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 171. P. 1039-1048 (in English)
9. Pier Paolo Manca. The flotation of sphalerite mine tailings as a remediation method. / Pier Paolo Manca, Giorgio Massacci, Davide Pintus, Giulio Sogos. // *Minerals Engineering*. 2021. Vol. 165. Art. №106862 (in English)
10. Kasongo K.B. Statistical investigation of flotation parameters for copper recovery from sulfide flotation tailings. / K.B. Kasongo, M.H. Mwanat, Ngamba Guellord, Merveille Kimpiab, K. Fabrice Kapiamba. // *Results in Engineering*. 2021. Vol. 9. Art. №100207 (in English)
11. Malte Drobe. Processing Tests, Adjusted Cost Models and the Economies of Reprocessing Copper Mine Tailings in Chile. / Malte Drobe, Frank Haubrich, Mariano Gajardo, Herwig Marbler. // *Metals*. 2021. Vol. 11. P. 1031-1052 (in English)
12. Abramov A.A. Tekhnologiya pererabotki i obogashcheniya rud tsvetnykh metallov. Tom 3. Kniga 2. Rb, Pb-Cu, Zn, Pb-Zn, Pb-Cu-Zn, Cu-Ni, So-, Bi-, Sb-, Ng- soderzhashchie rudy: M: MGGU, 2005, S. 470 [Abramov A.A. Technology of processing and enrichment of non-ferrous metal ores. Volume 3. Book 2. Rb, Pb-Cu, Zn, Pb-Zn, Pb-Cu-Zn, Cu-Ni, Co-, Bi-, Sb-, Nd-containing ores: M: MGSU, 2005, P. 470] (in Russian)

Информация об авторах:

Мамбеталиева А.Р., доктор PhD, старший преподаватель кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), a.mambetalieva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-1536-5259>

Макашева Г.К., докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), mguldanka@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2875-9433>

Тусупбекова Т.Ш., докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), tansholpan_87.09@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2940-8715>

Мугинов А.О., инженер-исследователь ТОО «КазГидроМедь» (г. Караганда, Казахстан), aibek92.29@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-5130-8396>

Авторлар туралы мәліметтер:

Мамбеталиева А.Р., PhD докторы, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының аға оқытушысы Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Түсіпбекова Т.Ш., «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының докторанты Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Макашева Г.К., «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының докторанты Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Мугинов А.О., «КазГидроМедь» ЖШС инженер-зерттеушісі (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Mambetalieva A.R., PhD, Senior Lecturer at the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Tusupbekova T.Sh., doctoral student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Makasheva G.K., Doctoral student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Muginov A.O., Research Engineer at Kazhydromed LLP (Karaganda, Kazakhstan)

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ И ДОКАЗАННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ



ME Elecmetal обладает знаниями, опытом и производственными возможностями для обеспечения вашего предприятия надежными и эффективными решениями в технологиях дробления и измельчения.



ME FIT Grinding

Изнашиваемые детали для мельниц
и дробилок всех типов

- Полусамоизмельчения
- Самоизмельчения
- Шаровых
- Стержневых
- Гирационных
- Щековых
- Конусных
- Вертикальных

ME Elecmetal

тел.:

+7 914 880 4545
+7 777 247 0787
+1 778 875 7525

mongolia@me-elecmetal.com
www.me-elecmetal.com

Код МРНТИ 52.45.17

Г.Е. Аскарова, *К.К. Мамырбаева, М.Р. Шаутинов, А.Б. Бегалинов
Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

ҚИЫН БАЙЫТЫЛАТЫН АЛТЫН ҚҰРАМДЫ КЕНДІ САТЫЛЫ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ БАЙЫТУДЫ ЗЕРТТЕУ

Андатпа. Зерттеу мақсаты болып Васильков алтынқұрамды кенін тиімді гравитациялық байыту сұлбасын жасау болып табылды. Физика-химиялық талдаулармен алтынның мөлшері 3,2 г/т, оның 1,81 г/т кен құрамында сап алтын түрінде, қалғандары арсенопирит, пиритпен және аз мөлшерде бос минералдармен байланысқан күйлерінде кездесетіндігі анықталды. Дисперстік талдау нәтижелері бойынша алтын негізінен ірі және өте ұсақ кластарда таралғаны, сәйкесінше 41,70 және 27,08% құрайтындығы анықталды. Рационалды құрамды есептеу нәтижесінде -40+20, -20+10 және -10+5 мм ірілік кластары үшін гравитациялық байыту индекстері есептелді: 0,62; 0,66; 0,70; 0,06. Үш сатылы гравитациялық байыту сұлбасымен алтынқұрамды кенді байыту нәтижесінде алтынның жалпы концентраттағы шығымы 7,04%, бөліп алу дәрежесі 49,19% болатын концентрат алынды.

Түйінді сөздер: Васильков алтынқұрамды кені, гравитациялық байыту әдісі, алтын, сап алтын, гидравликалық ортадан тепкіш концентратор.

Study of stepwise gravity beneficiation of refractory old ore

Abstract. The purpose of the research was the intensification and development of the gravity enrichment scheme of the Vasilkov gold-bearing ore using a hydraulic concentrator. Physico-chemical research has established that the amount of gold in the ore sample is 3.2 g/t, of which 1.81 g/t of ore is in the form of fine-grained free gold, the rest – in the form of associated with arsenopyrite, pyrite and an insignificant amount – a bare rock with minerals. According to the results of the dispersion analysis, it was established that gold is mainly distributed in large and very small fractions, in the amount of 41.70 and 27.08%, respectively. The calculated enrichment index for size classes -40+20, -20+10 and -10+5 mm is equal to: 0.62; 0.66; 0.70; 0.06. As a result of the three-stage gravity enrichment scheme, the concentrate was obtained with a total yield of gold in the concentrate of 7.04%, and the degree of extraction was 49.19%.

Key words: Vasilkov gold mine, gravity beneficiation method, gold, fine gold, hydraulic centrifugal concentrator.

Исследование ступенчатого гравитационного обогащения упорной золотосодержащей руды

Аннотация. Целью исследования явилась интенсификация и разработка гравитационной схемы обогащения Васильковской золотосодержащей руды с использованием гидроконцентратора. Физико-химическими исследованиями установлено, что количество золота в пробе руд составляет 3,2 г/т, из них 1,81 г/т руды находится в виде мелкозернистого свободного золота, остальное – в связанном виде с арсенопиритом, пиритом и незначительное количество – с минералами пустой породы. По результатам дисперсионного анализа установлено, что золото преимущественно распределено в крупных и в очень мелких фракциях, в количестве 41,70 и 27,08% соответственно. Рассчитаны индексы обогащения для классов размера -40+20, -20+10 и -10+5 мм и они равны соответственно: 0,62; 0,66; 0,70; 0,06. В результате трехстадийной гравитационной схемы обогащения получен концентрат с общим выходом золота в концентрат 7,04%, со степенью извлечения 49,19%.

Ключевые слова: золотосодержащая Васильковская руда, гравитационный способ обогащения, золото, свободное золото, центробежный гидроконцентратор.

Кіріспе

Алтын – физика-химиялық қасиеттері ерекше асыл металдардың бірі және электроника, медицина, машина жасау және т.б. салаларда кенінен қолданылады. Алтынның әлемде және елімізде экономикалық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін мемлекеттің валюталық қор ретінде алатын маңызы өте зор.

Қазіргі кездегі отандық металлургия саласының басым мәселелерінің бірі – алтын өндірісін жылына 70 т дейін жоғарылату көзделіп отыр [1]. Елімізде алтынның қоры көп болғанымен кеннің жылдан жылға қарай бай кендердің сарқылуда. Осы мәселені шешу үшін ең алдымен алтынның минералдық шикізат базасын нығайту болып табылады.

Васильков кенорны Қазақстандағы ең ірі алтын кенорындарының бірі, ол Көкшетау қаласынан солтүстік-батысқа қарай 17 км жерде орналасқан, кендегі металдың орташа мөлшері 2,8 г/т, дәлелденген алтын қоры 370 тоннаны құрайды. Осы күнге дейін оның шамамен 10-15% кен қоры игерілген. Осы алтынқұрамды кен денесінің қалыптасу механизмі, таралу тереңдігі, минералды құрамдары және т.б. бірқалыпты емес, сондықтан әруақытта кеннің физика-химиялық құрамын зерттеу және сәйкес байытылу сұлбасын таңдау өзекті мәселе болып табылады [2, 3].

Кедей қиын байытылатын алтынқұрамды кенде алтын негізінен сап алтын түрінде және әр түрлі пішіндерде – түйіршіктер, қабықшалар, пластинкалар, дендриттер және т.б. түрінде кездеседі. Алтынның біраз бөлігі кеннің құрамында әдетте «алтын тасымалдаушы минералдар» деп аталатын пирит пен арсенопиритпен бірге, сонымен қатар

басқа да сульфидті минералдармен байланысқан түрде кездеседі [4, 5].

Алтынды өңдеу технологиясының қайсысы болмасын кен алдымен ұсақталып, содан кейін гравитациялық байытуға түседі. Байыту үдерістерінің жақсы жүруі кен құрамындағы табиғи алтын мен алтынқұрамды минералдардың түзілу табиғаты мен олардың құрамына кіретін қоспа элементтердің түрлеріне, кендегі минералдардың өзара байланысу сипаттамаларына байланысты. Бос алтын жұмсақ және оңай ұнтақталмайды, сондықтан ол жеткілікті ұсақталғанша ұнтақтау циклі арқылы 50-100 рет өтуі мүмкін. Ұнтақтау контурында жиналған бос алтынның тығыздығы бос кен минералдарымен салыстырғанда жоғары болады, сол себептен оны гравитациялық байытумен бөліп алуға мүмкін болады [5, 6]. Дегенмен гравитациялық байытудың өнімділігі көптеген факторлармен қатар байытуға түсетін алтын бөлшектерінің морфологиясына (пішініне) қатты тәуелді. Ол негізінен гравитациялық байытуға дейін жүргізілетін кенді бөлшектеу ұсақтау қондырғыларының түрлеріне, олардың қандай күшпен кенді ұсақтауына, ұсақтау сатысына да байланысты. Сондықтан гравитациялық байыту алдында қолданылатын ұсақтау бөлшектеу қондырғылары, сатылары мұқият ескерілуі тиіс [7, 8].

Гравитациялық байытуды жүргізуде қазіргі кезде бірнеше қондырғылар – Кнелсон, Фалькон және т.б. қолданылады [9, 10, 11]. Бірақ мұндай қондырғылар ұзақ жұмыс жасаған кезде негізгі техникалық мәселелердің бірі – орталықтан тепкіш күштердің әсерінен алтынды ғана емес, сонымен қатар басқа минералдар мен тау жыныстарының

бөлшектерін де тұндыруында. Ешқандай әрекет жасалмайтын болса, қондырғының конусындағы рифляның арасы тез таспен толып, дерлік тегіс болады және ауыр алтын минералының жиналу процесі тоқтайды.

Зерттеулер көрсеткендей, зауыттарда аталған қондырғылармен, яғни ауырлық күшімен байыту кезінде болжанған алтынның кендегі 35-85% бөлігі бөліп алынып, қалған бөлігі қалдықта кетеді екен. Сол үшін арнайы конструкциясы жақсартылған гидроконцентраторларды пайдаланумен байыту жүргізу маңызды мәселе болып табылады. Осы себепке байланысты алтынқұрамды кеннің байыту процесін, кеннің физика-химиялық құрамын мұқият талдау, сондай-ақ минералдарды ашу үшін қажетті ұсақтау дәрежесін дұрыс таңдау, өте ұсақ алтынды барынша жоғары дәрежеде бөліп алу сұлбасын конструкциясы жетілдірілген концентраторды қолданумен жүргізу алтын өндірісіндегі аса маңызды мәселе болып табылады.

Зерттеу жұмысының мақсаты болып Васильков қиынбайытылатын алтынқұрамды кенін гравитациялық байытудың қарқындылығын арттыру болып табылды.

Зерттеу әдістемелері мен материалдары

Зерттеу объектісі болып алтынқұрамды Васильков кен орнының сынамалары табылды.

Зерттеулерді жүргізу үшін кен үлгілері стандартты әдістер бойынша алдымен ұсақталды және орташа сынама алынды. Кен сынамасының массасы 12 кг болды.

Кеннің элементтік, фазалық және минералогиялық құрамын анықтау үшін келесідей физика-химиялық зерттеу әдістері қолданылды: рентгенфлуоресценциялық, рентгендифракциялық, микроскопиялық және химиялық. Рентгенфлуоресценциялық талдау әдісі SciAps X-50 аппаратымен, рентгендифракциялық талдау Pert MPDPRO (PANalytical) қондырғысымен, микроскопиялық талдау – Axio Scope.A1 қондырғысымен жүргізілді.

Кен үлгілерінің гранулометриялық құрамы седиментациялық талдау әдісімен анықталды. Седиментациялық талдауда сұйық орта ретінде су алынды. Ұсақталған фракциялардағы алтын мен негізгі элементтердің нақты құрамын білу үшін рационалды құрам есептелді, кен массасы 100 г болды. Әр фракциядағы алтынның мөлшері химиялық талдаумен анықталды. Кенді байыту гравитациялық әдіспен, 1-суреттегі сұлба бойынша жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері және талқылау

Қиын байытылатын алтынқұрамды кеннен алтынды толығымен бөліп алу әдісін таңдау үшін алдымен кеннің сапалық және сандық талдауларының мәні негізгі көрсеткіштер болып табылады. Зерттеуде алдымен рентгенфлуоресценциялық және химиялық талдаулар көмегімен алдымен Васильков алтынқұрамды кеннің химиялық құрамы анықталды (1-кесте).

Рентгендифракциялық талдау нәтижесінде кеннің негізгі минералдары болып арсенопирит, пирит, пирротин, өте аз мөлшерде халькопирит, сфалерит, галенит, сфалерит, висмутин және т.б. бар екендігі табылды. Минералогиялық талдау бойынша Васильков кеноры үлгісінде сап алтын, сонымен қатар пирит, арсенопирит, аз мөлшерде халькопирит және висмутин, сондай-ақ мышьякпен бірге

байланысқан түрде кездесетіндігі анықталды. Алтынның негізгі массасы ұсақдисперсті, пішіндері дұрыс емес, алтын бөлшектерінің беті бос минералдармен жабылған. Мұндай «алтынтасушы» минералдардың болуы кеннің қиын байытылатын түріне жататындығын анықтайтын факторлар болып табылады [3, 4].

Кесте 1

Васильков алтынқұрамды кеннің химиялық құрамы

Table 1

Chemical composition of Vasilkov gold ore

Таблица 1

Химический состав Васильковской золотосодержащей руды

Элемент, косылыс атауы	Химиялық формуласы, символы	Бағалы заттың үлесі, %
Кремний оксиді	SiO_2	64,62
Алюминий оксиді	Al_2O_3	12,40
Кальций оксиді	CaO	4,20
Магний оксиді	MgO	3,43
Темір жалпы	$Fe_{жал}$	4,70
Күкірт жалпы	$S_{жал}$	1,22
Сульфидті күкірт	$S_{сульфид}$	1,18
Титан оксиді	TiO_2	0,43
Мыс	Cu	0,24
Қорғасын	Pb	0,05
Мырыш	Zn	0,01
Мышьяк	As	2,22
Алтын, г/т	Au	3,20
Күміс г/т	Ag	2,10

Алтынқұрамды кеннің химиялық талдауы көрсеткендей, сынамалардағы алтынның мөлшері оншалықты жоғары емес, небары 3,2 г/т тең болды. Сынаманың басым көп бөлігі кварц болып табылды және оның мөлшері 64,62%, ал алюминий оксидінің мөлшері шамамен 12.40% құрады.

Минералогиялық талдауға сәйкес алтынқұрамды кен сульфидті минералданған, орташа гранодиориттер құрамды болып табылды.

Кен сынамаларындағы алтынның кендегі кездесетін мөлшерін дәл анықтау үшін рационалды құрам есептелді. Нәтижелер 2-кестеде келтірілген.

Кенді рационалды талдау нәтижесі бойынша алтынның басым бөлігі, яғни 68,75% мөлшері бос күйінде (1,8 г/т), шамамен бестен бір бөлігі арсенопиритпен, 21.87% – 2,1 г/т, он бестен бір бөлігі пиритпен (6,67 %, 0,64 г/т) ал қалғаны - тау жыныстары минералдарымен (2,71 % – 0,26 г/т) байланысқан түрде кездесетіндігі анықталды.

Ұсатылған кен сынамаларындағы алтынның әр ірілік класындағы таралу мөлшерін анықтау үшін химиялық (дисперсті) талдау жүргізілді. Нәтижелер 3-кестеде келтірілген.

Кесте 2
Кендегі алтынның рационалды құрамы

Rational composition of gold in ore

Таблица 2
Рациональный состав золота в руде

Алтынның минералдармен бірлесу нысаны	Бағалы заттың үлесі, г/т	Таралуы, %
Сап алтын	1,81	68,75
Сульфидтер (арсенопиритпен) бірге	2,11	21,87
Сульфидтермен (пиритпен) байланысқан түрі	0,64	6,67
Тау жыныстарымен (кварц, доломит және т.б.) байланысқан түрі	0,26	2,71
Барлығы	3,20	100,00

Кесте 3
Әр түрлі класс бойынша алтынның таралуын дисперсиялық талдау нәтижелері

Table 3
Results of variance analysis of gold distribution by class

Таблица 3
Результаты дисперсионного анализа распределения золота по классам

Классы, мкм	Шығым, %	Алтынның, бағалы заттың құрамы, г/т	Таралуы, %
+60	24,63	1,80	41,70
-60+40	19,18	1,10	19,85
-40+20	18,60	0,065	11,37
-20+0	37,59	0,50	27,08
Барлығы	100,00	3,20	100,00

Кен сынамасындағы алтынның дисперстік талдау нәтижелері бойынша алтын негізінен ірі (41,70%) және өте ұсақ кластарда (27,08%) көп таралғандығын көрсетті. Бұл нәтижелер бойынша кенді байыту үшін гравитациялық байыту әдісін қолдануға жарамды екендігі нақтыланды. Осы мақсатта әрі қарай кеннің фракциялық талдауын келесі мақсаттарды, яғни біріншісі – кенді алдын ала байыту мүмкіндігін анықтау, екіншісі – кенді гравитациялық байытуда алынатын технологиялық көрсеткіштерге болжам жасау үшін жүргізілді. Васильков кенінің фракциялық талдау нәтижелері 4 – кестеде келтірілген.

Талдау негізінде -40+20, -20+10 және -10+5 мм ірілік классы үшін гравитациялық байыту процесін қолдану мүмкіндігі болжанды. Ірілік классы -40+20; -20+10; -10+5; -40+5 мм фракциялар үшін гравитациялық байыту индекстері есептелді және олар сәйкесінше келесілерге

тең болды: 0,62; 0,66; 0,70; 0,06. Алынған нәтижелер байытудың гравитациялық индексі 0.6-0.7 аралығында болатындығы анықталды.

Осылайша, технологиялық балансты құруға қажетті негізгі көрсеткіштер болып келесілер табылды және оларға талдаулар жасалды: алтынның бастапқы үлгідегі мөлшері, кен үлгісінің гранулометриялық құрамы және асыл металдың фракциялар бойынша таралуы, барлық сатылардағы концентрат пен қалдықтардың құрамы және шығым мөлшерлері.

Зерттеулер барысында алтынқұрамды кенді байытудың келесідей технологиялық сұлбасы әзірленіп, сынақтар жүргізілді (1-сурет).

Бұл сұлба бойынша ең алдымен массасы 12 кг, 3,2 г/т алтынқұрамды кен сынамасы бірінші ұсату сатысына түседі. Бұл сатыда кен жақты ұсатқышпен -2100+300 мм ірілікке дейін, әрі қарай екінші ұсату сатысында кен жақты ұсатқышпен -300+150 мм дейін ұсатылады. Үшінші сатыда үлгілердің ірілігі валкалы ұсатқыштар көмегімен -150+40 мм дейін жеткізілді. Осы үш сатыдан кейін кеннің -40+0 мм дейінгі кен диірменге ұнтақтауға жіберіледі. Ұнтақтаудан шыққан кен бірінші гравитациялық байыту сатысында, отсадкалау машинасында және -5+0 класты кен винтті сепараторда байытылды, тазалау үрдісі ретінде концентрациялау столында байыту жүргізілді. Алынған концентраттағы алтынның шығымы 2,11%, бағалы заттың пайыздық үлесі 22,1 г/т, ал бөліп алу дәрежесі 14,57% тең болды. Осы бірінші гравитациялық байытудан кейінгі алынатын қалдықты білікті шарлы диірменге салып, 0,24 мм ірілігіне дейін ұнтақтаймыз.

Екінші гравитациялық байыту сатысы ортадан тепкіш гидроконцентраторда жүргізілді, алтынның шығымы 2,86%, асыл металдың пайыздық үлесі 20,5 г/т, бөліп алу дәрежесі 18,32% құрады. Осы сатыдан шыққан қалдық құрамындағы алтынды бөліп алу үшін шарлы диірменде 0,12 мм дейін ұнтақталып, әрі қарай байытуға жіберілді.

Үшінші гравитациялық байыту сатысы да ортадан тепкіш гидроконцентраторда жүргізілді. Байыту нәтижесінде алынған концентраттың шығымы 2,07%, асыл металдың пайыздық үлесі 25,2 г/т, ал бөліп алу дәрежесі 16,30% жетті. Осы сатыдан шыққан қалдық ары қарай флотациялық байытуға жіберіледі.

Ұсынылған технологиялық сұлба бойынша талдау нәтижелері төмендегі 5-кестеде келтірілген.

Зерттеулердің барысында Васильков алтынқұрамды кенін байытудың тиімді технологиялық сұлбасы құрастырылды, алынған көрсеткіштер бойынша флотацияға жіберілетін қалдықта небары 2,4 г/т сап алтын бар, бұл бұрынғы байыту сұлбасымен салыстырғанда әлдеқайда төмен болды, демек барлық концентраттың шығымы 7,04%, ал алтынды бөліп алу дәрежесі 49,19% көрсетеді. Бұл көрсеткіш дәстүрлі әдістермен алтынқұрамды кенді байыту көрсеткіштерінен 1,5 есеге көп.

Қорытынды

Құрамында ұсақдисперсті сап алтыны бар қиын байытылатын Васильков алтынқұрамды кені үшін гравитациялық байыту әдісін қолдану тиімді болып табылады.

Кесте 4

Васильков алтынқұрамды кеннің фракциялық құрамы

Table 4

Fractional composition of Vasilkov goldbearing ore

Таблица 4

Фракционный состав Васильковской золотосодержащей руды

Фракция тығыздығы, кг/м ³	Шығым, %	Бағалы заттың үлесі, %	Көбей- тіндісі	Жеңіл фракция			Ауыр фракция		
				Шығым, %	Бағалы заттың үлесі, %	Көбей- тіндісі	Шығым, %	Бағалы заттың үлесі, %	Көбей- тіндісі
класс -40+20 мм									
+3000	8,23	0,24	1,97	8,23	0,24	1,97	100	0,65	65
-3000+2900	3,52	0,41	1,44	11,75	0,39	4,58	91,77	0,66	60,57
-2900+2800	10,75	0,59	6,34	22,5	0,95	21,4	88,25	0,70	61,78
-2800+2700	16,50	0,55	9,07	39	0,54	21,06	77,5	0,77	59,7
-2700+2600	38,0	1,62	61,56	77	0,61	46,97	61	0,20	12,2
-2600	23,0	2,91	66,93	100,0	0,65	65	23	2,91	66,93
Барлығы	100	1,47	147,31	-	-	-	-	-	-
класс -20+10 мм									
+3000	3,99	0,24	0,96	3,99	0,24	0,98	100,0	0,69	69
-3000+2900	11,64	0,41	4,77	15,63	0,30	4,7	96,01	0,70	67,21
-2900+2800	35,30	0,59	20,83	51,93	0,53	27,52	84,37	0,75	63,28
-2800+2700	37,11	0,55	20,41	90,04	0,57	51,32	49,07	0,86	42,20
-2700+2600	8,57	1,62	13,88	95,61	0,63	60,23	11,96	1,75	20,93
-2600	3,39	2,91	9,86	100,0	0,69	69	3,39	2,03	6,88
Барлығы	100	0,65	65	-	-	-	-	-	-
класс -10+ 5мм									
+3000	6,98	0,17	1,19	6,98	0,17	1,19	100,0	0,71	71
-3000+2900	14,64	0,42	6,15	21,62	0,35	7,6	94,02	0,75	70,52
-2900+2800	26,73	0,64	17,11	48,35	0,53	25,63	78,38	0,81	63,5
-2800+2700	40,50	0,59	23,9	88,85	0,56	49,76	41,65	0,96	39,9
-2700+2600	5,45	1,31	7,14	94,3	0,60	56,58	11,15	1,97	21,96
-2600	5,70	2,60	14,82	100,0	0,71	71	5,70	2,60	14,82
Барлығы	100,0	0,71	71	-	-	-	-	-	-

Кесте 5

Қиын байытылатын Васильков алтынқұрамды кенді үшстадиялық гравитациялық байыту нәтижелері

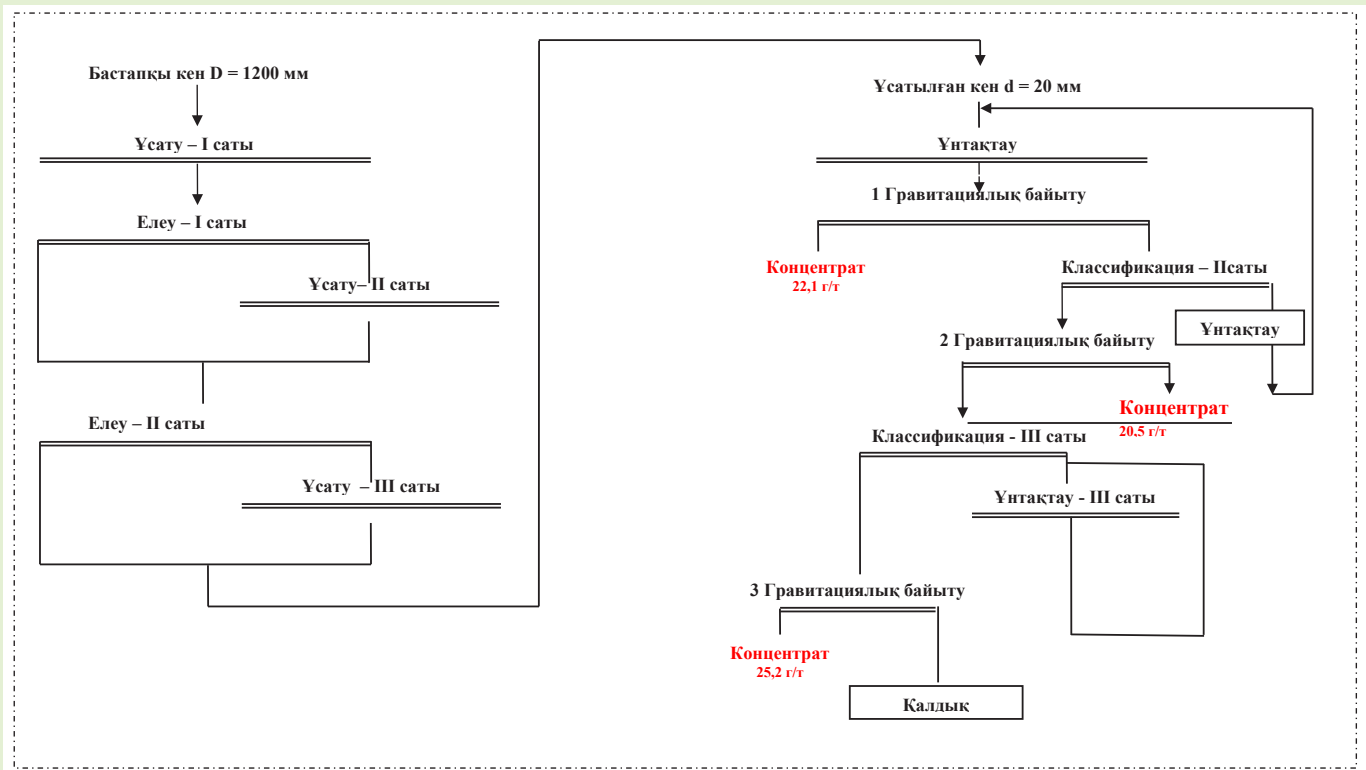
Table 5

Results of three-stage gravity concentration of refractory Vasilkov goldbearing ore

Таблица 5

Результаты трехстадийного гравитационного обогащения упорной Васильковской золотосодержащей руды

Өнімнің атаулары	Шығымы, %	Бағалы заттың пайыздық үлесі г/т	Бөліп алу дәрежесі, %
1-гравитациялық концентрат	2,11	22,10	14,57
Қалдық	97,89	2,39	85,43
2-гравитациялық концентрат	2,86	20,49	18,32
Қалдық	97,14	2,01	81,68
3- гравитациялық концентрат	2,07	25,20	16,30
Қалдық	97,93	2,39	83,70
Кен	100,00	3,20	100,00



Сурет 1. Қиын байытылатын Васильков алтынқұрамды кенді гравитациялық байытудың технологиялық сұлбасы.
Figure 1. Technological flowsheet of gravity concentration of refractory Vasilkov goldbearing ore.

Рис. 1. Технологическая схема гравитационного обогащения упорной Васильковской золотосодержащей руды.

Васильков кедей алтынқұрамды кенінде алтынның құрамы 3,20 г/т құрады, негізгі минералдары болып келесілер табылды: кварц, пирит, арсенопирит пирит, пирротин және т.б., мұндай кен кедей және қиын байытылатын кенге жағады.

Рационалды талдау нәтижесі бойынша алтынның 68,75% мөлшері бос күйінде (1,81 г/т), 21,87% (2,11 г/т) бөлігі арсенопиритпен, 6,67% (0,64 г/т) бөлігі пиритпен, қалған 2,71% (0,26 г/т) бөлігі – бос минералдарымен байланысқаны анықталды. Дисперстік талдау алтын негізінен ірі және өте ұсақ кластарда көп таралғандығын көрсетті.

Талдау негізінде 40+20, -20+10 және -10+5 мм ірілік класы үшін гравитациялық байыту процесін қолдану мүмкіндігі табылды. Ортадан тепкіш гидравликалық концентраторды пайдаланумен жүргізілетін тиімді үшсатылы гравитациялық байыту сұлбасы жасалды және кенде таралған сап алтынның ұсақ, жұқа және шаң тәрізді бөлшектері максималды мөлшерде бөліп алуға мүмкіндік туындады. Осы сұлба бойынша алтынды жалпы бөліп алу дәрежесі 49,19% құрады. Бұл сұлба Васильков кеніне ұқсас алтынқұрамды кендерді байыту үшін жарамды және экономикалық жағынан тиімді болып табылады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Верховин С.С. Қазақстанның алтын өндіру өнеркәсібі. URL: <https://zolotodb.ru/article/11194> (орыс тілінде)
2. Dolgorolova, A., Seltmann, R., Miroshnikova, A. and Mizernaya, M. Құрамында алтыны бар Васильков кенорнының минералогиялық және геохимиялық сипаттамасы (Солтүстік Қазақстан). // «Тұрақты әлемнің минералды ресурстары» конференция жинағы, Нанси, Франция, 2015. – Т. 1. – Б. 77-80 (ағылшын тілінде)
3. Абдыкирова Г.Ж. Құрамында алтыны бар қиын байытылатын кенді және техногендік шикізатты байыту технологияларын жетілдіру. Монография: Алматы: Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, 2022, Б. 225 (орыс тілінде)
4. Jiafeng Liet al. Құрамында пирит пен арсенопирит басым болып келетін алтын құрамды қиын байытылатын кенін алудың минералогиялық сипаттамаларын және оңтайландыру талдаулары. // Геохимия. 2023. Бөл. 83. Шығ. 1. Б. 1-11 (ағылшын тілінде)
5. Dominy S.Cet al. Гравитациямен бөлінетін алтын кенін геометаллургиялық зерттеу. // Минералдар. 2018. Бөл. 8 (5):186. Б. 1-11 (ағылшын тілінде)

6. Nayak A. Ұсақ бөлшектерді өңдеу үшін күшейтілген гравитациялық сепараторларды қолдану: шолу. / Nayak A., Jena M.S. Mandre N.R. // Тұрақты металлургия журналы. 2021. Бөл. 7. Б. 315-339 (ағылшын тілінде)
7. Moosakazemi F. et al. Шарлы диірменде бөлшектерінің морфологиясына конструкциялық және жұмыс параметрлерінің әсері. // Минералды өндеудің халықаралық журналы. 2017. Б. 165. Б. 41-49 (ағылшын тілінде)
8. McGrath T.D.H. Гравитациялық және флотациялық концентраттардағы сап алтын түйіршіктерінің 2D и 3D пішінің сипаттамаларын салыстыру. / McGrath T.D.H., Connor L.O., Eksteen J.J. // Минералды инженерия. 2015. Бөл. 82. Б. 45-53 (ағылшын тілінде)
9. Qiao Chen et al. Кнелсон концентраторының жұмыс механизмін талдау. // Минералды инженерия. 2020. Бөл. 158. Б. 1-10 (ағылшын тілінде)
10. Qiao Chen et al. Кнелсон концентраторын зерттеу және қолдану: Шолу. // Минералды инженерия. 2020. Б. 152. Б. 1-15 (ағылшын тілінде)
11. Marion C. et al. Зертханалық Falcon концентраторы көмегімен ұсақ минералдарды тығыз ортада бөлу мүмкіндігі. // Минералды инженерия. 2017. Т. 105. Б. 7-9 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Verhozin S.S. Zolotodobyvayushhaja promyshlennost' Kazahstana. URL: <https://zolotodb.ru/article/11194> [Verkhosin S.S. Gold mining industry of Kazakhstan. URL: <https://zolotodb.ru/article/11194>] (in Russian)
2. Dolgoplova A., Seltmann R., Miroshnikova A., Mizernaya M. Mineralogical and Geochemical Characteristics of the Vasilkovskoye Gold Deposit (North Kazakhstan). // Proceedings of conference «Mineral Resources in a Sustainable World», Nancy, France, 2015. – Vol. 1. – P. 77-80 (In English)
3. Abdykairova G.Zh. Sovershenstvovanie tehnologij obogashhenija zolotosoderzhashhego upornogo rudnogo i tehnogennoogo syr'ja. Monografija: Almaty: KazNITU im. K.I. Satpaeva, 2022, S. 225 [Abdykairova G.Zh. Improving technologies for the enrichment of gold-bearing refractory ore and technogenic raw materials. Monograph: Almaty: KazNITU named after K.I. Satpayev, 2022, P. 225] (In Russian)
4. Jiafeng Li et al. Mineralogical characteristics and recovery process optimization analysis of a refractory gold ore with gold particles mainly encapsulated in pyrite and Arsenopyrite. // Geochemistry. 2023. Vol. 83. Issue 1. P. 1-11 (In English)
5. Geometallurgical Study of a Gravity Recoverable Gold Orebody / Dominy S.C et al. // Minerals. 2018. Vol. 8(5):186. P. 1-11 (In English)
6. Nayak A. Application of Enhanced Gravity Separators for Fine Particle Processing: An Overview. / Nayak A., Jena M.S., Mandre N.R. // Journal of Sustainable Metallurgy. 2021. Vol. 7. P. 315-339 (In English)
7. Moosakazemi F. et al. Effect of design and operational parameters on particle morphology in ball mills. / Moosakazemi F. et al. // International Journal of Mineral Processing. 2017. Vol. 165. P. 41-49 (In English)
8. T.D.H. McGrath. A comparison of 2D and 3D shape characterisations of free gold particles in gravity and flash flotation concentrates. / T.D.H. McGrath, L. O'Connor, J.J. Eksteen. // Minerals Engineering. 2015. Vol. 82. P. 45-53 (In English)
9. Chen Q. et al. Analysis of the operating mechanism of a Knelson concentrator. // Minerals Engineering. 2020. Vol. 158. P. 1-10 (In English)
10. Qiao Chen et al. Research and application of a Knelson concentrator: A review. // Minerals Engineering. 2020. Vol. 152. 1-15 (In English)
11. Marion C. et al. The potential for dense medium separation of mineral fines using a laboratory Falcon Concentrator // Minerals Engineering. 2017. Vol. 105. P. 7-9 (In English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Верхозин С.С. Золотодобывающая промышленность Казахстана. URL: <https://zolotodb.ru/article/11194> (на русском языке)
2. Долгополова А., Зельтманн Р., Мирошникова А., Мизерная М. Минералогические и геохимические характеристики Васильковского золоторудного месторождения (Северный Казахстан). // Материалы конференции «Минеральные ресурсы в устойчивом мире», Нанси, Франция, 2015. – Т.1. – С. 77-80 (на английском языке)
3. Абдыкairoва Г.Ж. Совершенствование технологий обогащения золотосодержащего упорного рудного и техногенного сырья. Монография: Алматы: КазННТУ им. К.И. Сатпаева, 2022, С. 225 (на русском языке)

4. *Jiafeng Li et al.* Минералогические характеристики и анализ оптимизации процесса извлечения упорной золотой руды с частицами золота, главным образом, инкапсулированными в пирите и арсениопирите. // *Геохимия*. 2023. Т. 83. Вып. 1. С. 1-11 (на английском языке)
5. *Dominy S.C. et al.* Геометаллургическое исследование гравитационно извлекаемого золоторудного тела. // *Минералы*. 2018. Т.8 (5):186. С. 1-11 (на английском языке)
6. *Nayak A.* Применение сепараторов повышенной гравитации для переработки мелких частиц: обзор / *Nayak A., Jena M.S., Mandre N.R.* // *Журнал устойчивой металлургии*. 2021. Т. 7. С. 315-339 (на английском языке)
7. *Moosakazemi F. et al.* Влияние конструкции и эксплуатационных параметров на морфологию частиц в шаровых мельницах. // *Международный журнал по переработке полезных ископаемых*. 2017. Т. 165. С. 41-49 (на английском языке)
8. *McGrath T.D.H.* Сравнение характеристик формы частиц свободного золота в 2D и 3D в концентратах гравитационной и мгновенной флотации. / *T.D.H. McGrath, L. O'Connor, J.J. Eksteen.* // *Горное дело*. 2015. Вып. 82. С. 45-53 (на английском языке)
9. *Chen Q. et al.* Анализ рабочего механизма концентратора Кнельсона. // *Минеральное машиностроение*. 2020. Т. 158. С. 1-10 (на английском языке)
10. *Qiao Chen et al.* Исследование и применение концентратора Кнельсона: обзор. // *Минеральное машиностроение*. 2020. Т. 152. С. 1-15 (на английском языке)
11. *Marion C. et al.* Возможности разделения минеральных частиц в плотной среде с использованием лабораторного концентратора Falcon. // *Минеральное машиностроение*. 2017. Т. 105. С. 7-9 (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Аскарова Г.Е., Satbayev University «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» және «Тау-кен ісі» кафедрасының Ph.D докторанты (Алматы қ., Қазақстан), g.askarova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-6823-5450>

Мамырбаева К.К., Ph.D докторы, Satbayev University «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан), k.mamyrbayeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-1094-5345>

Шаутинов М.Р., техника ғылымдарының кандидаты, Satbayev University «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан), m.shautenov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-0266-3882>

Бегалинов А.Б., техника ғылымдарының докторы, Satbayev University «Тау-кен ісі» кафедрасының профессоры, (Алматы қ., Қазақстан), a.begalinov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-4793-6207>

Information about the authors:

Askarova G.E., doctoral student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing and the Department of Mining, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Mamyrbayeva K.K., Doctor Ph.D., Associate Professor of the Department of «Metallurgical Processes, Heat Engineering and Technology of Special Materials» Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Shautenov M.R., Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Begalinov A.B., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mining Engineering, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Аскарова Г.Е., докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» и кафедры «Горное дело» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Мамырбаева К.К., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Шаутинов М.Р., кандидат технических наук, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Бегалинов А.Б., доктор технических наук, профессор кафедры «Горного дела» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Код МРНТИ 86.40.00

М.К. Есенов¹, *Л. И. Раматуллаева¹, А.А. Волненко¹, Г.К. Ивахнюк²¹AUEZOV UNIVERSITY (Шымкент қ., Қазақстан),²САНКТ-ПЕТЕРБУРГ МЕМЛЕКЕТТІК ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ИНСТИТУТЫ,

(Санкт-Петербург қ., Ресей)

БАРАБАНДЫҚ АППАРАТТАРДЫҢ ЖҰМЫС ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ АТМОСФЕРАҒА ШАҢ МЕН ЛАСТАУШЫ ЗАТТАРДЫҢ ШЫҒАРЫЛУЫНА ӘСЕРІН ТАЛДАУ

Аннотация. Бұл мақалада саптаманың екі түрінде де барабанды материалмен толтыру коэффициенті құрылғыдағы салқындатқыш жылдамдығының жоғарылауымен төмендейтіні анықталды. Тәуелділік диаграммалары жылдамдықтың жоғарылауымен кептіру материалының тығыздығына қарамастан толтыру коэффициенті төмендейтінін көрсетеді. Материалды жүктеуге қарай көлбеу барабанды орнатқан жағдайда, барабанның айналу жиілігі N жоғарылаған кезде толтыру коэффициенті жоғарылайтыны көрсетілген. Дәл осындай жағдайларда, бірақ барабанды төменге еңкейткенде, кері байланыс байқалады. Зерттеулерде материалдар мен әдістер қарастырылып, кептіру процесінің математикалық моделі жасалды. Эксперименттік нәтижелер бойынша, барабанды материалмен толтыру коэффициенті және материал бөлшектерінің болу уақыты барабанның көлбеу бұрышына, айналу жылдамдығына, салқындатқыштың жылдамдығына және саптама тиімділігіне байланысты анықталды.

Түйінді сөздер: толтыру коэффициенті, кептіру, жылу және масса алмасу, барабанды кептіру машиналары, салқындатқыштың жылдамдығы мен коэффициенті.

Analysis of the impact of drum apparatus operating parameters on dust and pollutant emissions into the atmosphere

Abstract. In this paper, it was found that in both types of nozzles, the material fill factor of the drum decreases with increasing cooling rate in the device. The dependence diagrams show that as speed increases, the fill factor decreases, regardless of the density of the drying material. It is shown that in the case of installing an inclined drum, as the material is loaded, the filling coefficient increases when the drum rotation speed N increases. Under the same conditions, but when the drum is tilted towards the descent, feedback is observed. In the research, materials and methods were considered, and a mathematical model of the drying process was created. According to the experimental results, the drum filling coefficient with material and the residence time of material particles depend on the drum's inclination angle, rotation speed, coolant speed, and nozzle efficiency.

Key words: fill factor, drying, heat and mass transfer, drum dryers, speed and cooling coefficient.

Анализ влияния параметров работы барабанных аппаратов на выбросы пыли и загрязняющих веществ в атмосферу

Аннотация. В этой статье было обнаружено, что в обоих типах насадки коэффициент заполнения барабана материалом уменьшается с увеличением скорости охлаждения в устройстве. Диаграммы зависимости показывают, что с увеличением скорости коэффициент заполнения уменьшается независимо от плотности сушильного материала. Показано, что в случае установки наклонного барабана по мере загрузки материала коэффициент заполнения увеличивается, когда частота вращения барабана N увеличивается. В тех же условиях, но при наклоне барабана к спуску, наблюдается обратная связь. В исследованиях рассмотрены материалы и методы, создана математическая модель процесса сушки. По экспериментальным результатам было определено, что коэффициент заполнения барабана материалом и время нахождения частиц материала зависят от угла наклона барабана, скорости его вращения, скорости теплоносителя и эффективности насадки.

Ключевые слова: коэффициент заполнения, сушка, тепло- и массообмен, барабанные сушильные машины, скорость и коэффициент охлаждения.

Кіріспе

Өздеріңіз білетіндей, материал бөлшектерінің барабанда болу уақыты барабандағы бір реттік материалдың мөлшеріне, яғни толтыру коэффициентіне байланысты. Осыған байланысты, біз сондай-ақ барабан агрегатының режимдік параметрлеріне w коэффициентінің функционалдық тәуелділігін анықтау бойынша зерттеулер жүргіздік.

Жоғарыда айтылғандай, материалдарды кептіру процесі энергияны көп қажет етеді және оның тиімділігіне көптеген факторлар әсер етеді, технологиялық параметрлерді оңтайландыру үшін барабан қондырғысының энергия тұтынуына тәуелділікті жан-жақты зерттеу бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізу үлкен қаржылық және уақытты қажет етеді.

Сондықтан [1-2] қолда бар әдеби мәліметтер мен барабанды кептіргіштердегі жылу және масса алмасу процестерін эксперименттік зерттеу нәтижелері негізінде процесті математикалық сипаттау, оларды кейіннен эксперименттік тексеру орынды. Бұл үлкен энергия шығынын қажет етпейтін сандық зерттеулер негізінде [3-6] сенімді нәтижелерге қол жеткізуге және кептіргіштің энергия тұтынуының әсер етуші факторлармен байланысын анықтауға, сондай-ақ [7-12] кептіру қондырғысының жобалау және оңтайландыру есептеулерін жасауға мүмкіндік береді.

Өзін-өзі шайқайтын саптама (ӨШС) бар кептіргіш барабан қондырғысында кептіру процесін талдау үшін біз [4, 12] қатты және газ фазаларындағы жылу мен ылғалдың тепетендік теңдеулерін қолданамыз.

Материалдар мен әдістер

Кептіру процесінің математикалық моделін жасау кезінде біз келесі болжамдарды қабылдаймыз [3, 12]:

1. Газ фазасы идеалды ығыстыру жағдайында, ал материал идеалды араластыру жағдайында;

2. Материалдың құрғақ бөлігінің жылу сыйымдылығы, кептіру процесінде ылғал өзгермейді және температураға тәуелді емес;

3. Қабаттың көлденең қимасындағы материалдың температурасы мен ылғалдылығы бірдей, бірақ аппараттың ұзындығы бойынша әр түрлі;

4. Барабанның көлденең қимасындағы салқындатқыштың температурасы мен ылғалдылығы бірдей, бірақ ұзындығы бойынша әр түрлі;

5. Біз жылуды барабаннан материалға беруді елемейміз, өйткені идеалды араластыру кезінде бөлшектер барабан қабығының бетімен өте қысқа уақыт байланыста болады;

6. Барабанның температурасы кептіргіштен шығатын газдың температурасына тең;

7. Сәулелену арқылы ауадан материалға жылу беру на- зардан тыс қалады;

8. Кептіргіштегі барлық материал жылу және масса алмасу процестеріне қатысады.

Нәтижелер

Эксперименттер белгілі әдістеме бойынша жүргізілді [2-12]. Қондырғы стационарлық жұмыс режиміне шыққаннан кейін ол тоқтады және одан барабандағы Барлық материалдар түсірілді, өлшенді және келесі тәуелділік бойынша аппаратты толтыру коэффициенті есептелді:

$$\psi = \frac{100G_{\text{ост}}}{V_b \rho_n}, \quad (1)$$

$G_{\text{ост}}$ – барабандағы материалдың массасы, кг;

V_b – барабан көлемі, м³;

ρ_n – материалдың жаппай тығыздығы, кг/м³.

Зерттеу деректері саптаматердің екі түрін қолдана отырып жүргізілді: қозғалмайтын Г – тәрізді саптама және өзін-өзі шайқайтын саптама [3].

Саптаманың екі түрінде де барабанды материалмен толтыру коэффициенті төмендейтіні анықталды (1-сурет) құрылғыдағы салқындатқыштың жылдамдығы артқан кезде. Бұл табиғи, өйткені сонымен бірге құлаған бөлшектерге әсер ететін газдың қысым күші артады және олар оның әсерінен қозғалыс барысында үлкен қашықтыққа ауысады. Сонымен қатар, ӨШС-мен бірге аппаратта төмен мәндерге ие. Сонымен қатар, $w = 1$ м/с жылдамдықта 8% құрайды, ал $w = 4$ м/с кезінде айырмашылық шамамен 50% құрайды. Бұл материалдың біркелкі таралуына байланысты, нәтижесінде бөлшектердің көп бөлігі кептіру агентінің қысым күшіне ұшырайды. Осылайша, әзірленген саптама

экологиялық тұрғыдан жетілдірілген, өйткені шаңсорғыш аз түзіледі.

1-3 суреттерді талдау жылдамдықтың жоғарылауымен кептіру материалының тығыздығына қарамастан толтыру коэффициенті төмендейтінін көрсетті. Алайда тығыздығы жоғары Материалды өңдеу кезінде теріс көлбеу барабанда бір уақытта көп материал болады.

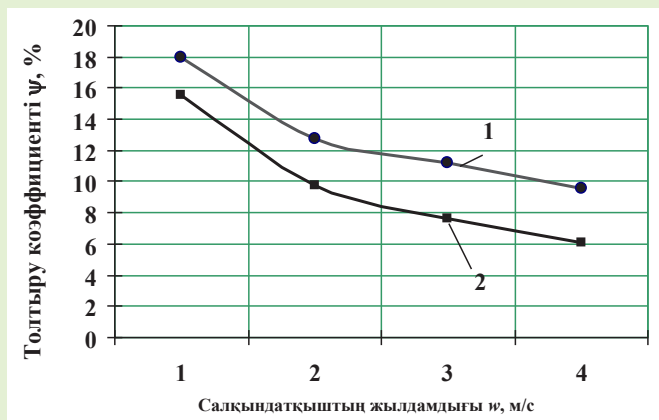
4-суреттен барабанның көлбеу бұрышының шамасы коэффициентке айтарлықтай әсер ететіндігін көруге болады. Сонымен, $b = -10$ шкаласы кезінде қозғалмайтын Г-тәрізді саптамасы бар аппарат үшін толтыру коэффициенті 12,2%, ал құрамдас ӨШС фракциясы = 9,4% құрайды. Барабанды плюс екі градусқа орнатқанда, бірінші жағдайда 1,1% және екінші жағдайда 0,6% мәнін құрайды.

Бұл функция анықталды $\psi = f(n)$ оң және теріс көлбеу бұрышында қарама-қарсы тенденцияға ие (5 және 6-суреттер).

Материалды тиеу жағына қарай еңісі бар барабанды орнатқан жағдайда (5-сурет) N барабанның айналу жиілігі артқан кезде толтыру коэффициенті жоғарылайтынын көруге болады. Дәл осындай жағдайларда, бірақ барабанды түсіру жағына қарай еңкейту кезінде (6-сурет) кері байланыс байқалады. Сонымен қатар, толтыру коэффициентінің мәндері де ерекшеленеді. Сонымен, теріс коэффициенті оң көлбеу бұрышына қарағанда жоғары мәндерге ие.

Инженерлік есептеулер үшін жеткілікті дәлдікпен ӨШС бар аппаратта кептірілетін материалдың орташа болу уақытын белгілі теңдеу бойынша есептеуге болатындығы анықталды:

$$\tau = (1 - \kappa_3) \frac{G_a}{G}, \quad (2)$$

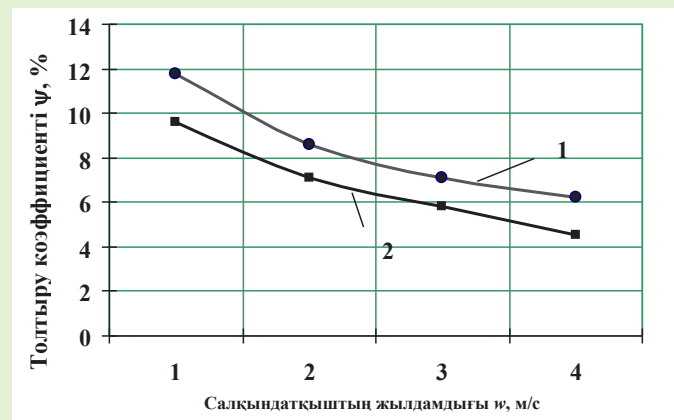


Қисықтарды белгілеу: 1 – Г – тәрізді саптама; 2 – ӨШС. $\alpha = -1^\circ$; $n = 6,96$ об/мин; $\rho_n = 1160$ кг/м³ болғанда.

Сурет 1. Барабанды материалмен толтыру коэффициентінің барабандағы салқындатқыштың жылдамдығына тәуелділігі.

Figure 1. Dependence of the drum filling coefficient with material on the coolant speed in the drum.

Рис. 1. Зависимость коэффициента наполнения барабана материалом от скорости теплоносителя в барабане.

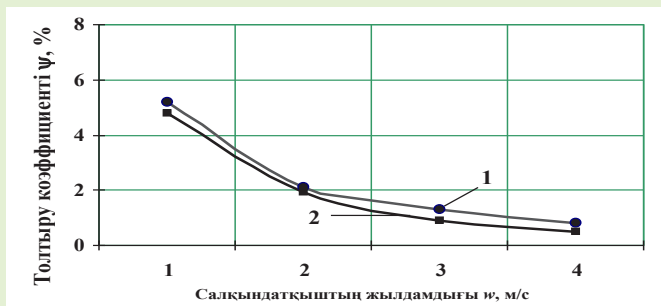


Қисықтарды белгілеу: 1 – Г – тәрізді саптама; 2 – ӨШС. $\alpha = -1^\circ$; $n = 6,96$ об/мин; $\rho_n = 560$ кг/м³ болғанда.

Сурет 2. Барабанды материалмен толтыру коэффициентінің барабандағы салқындатқыштың жылдамдығына тәуелділігі.

Figure 2. Dependence of the drum filling coefficient with material on the coolant speed in the drum.

Рис. 2. Зависимость коэффициента наполнения барабана материалом от скорости теплоносителя в барабане.

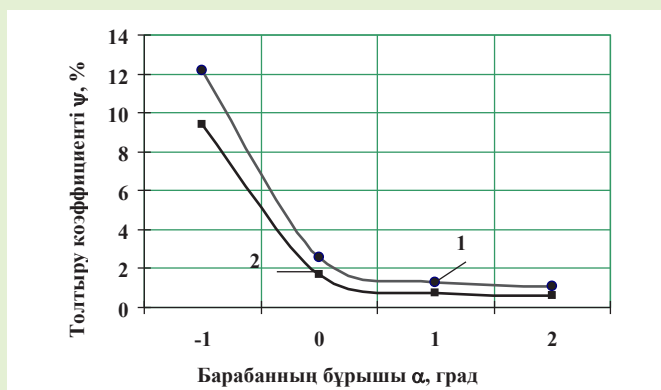


Қисықтарды белгілеу: 1 – Γ – тәрізді саптама; 2 – Θ ШС.
 $\alpha = 1^\circ$; $n = 4,16$ об/мин; $\rho_m = 560$ кг/м³ болғанда.

Сурет 3. Барабанды материалмен толтыру коэффициентінің барабандағы салқындатқыштың жылдамдығына тәуелділігі.

Figure 3. Dependence of the drum filling coefficient with material on the rate of coolant removal in the drum.

Рис. 3. Зависимость коэффициента наполнения барабана материалом от скорости хладоудаления в барабане.



Қисықтарды белгілеу: 1 – Γ – тәрізді саптама; 2 – Θ ШС.
 $n = 4,16$ об/мин; $\rho_m = 560$ кг/м³ болғанда.

Сурет 4. Барабанды материалмен толтыру коэффициентінің барабанның көлбеу бұрышына тәуелділігі.

Figure 4. Dependence of the fill factor of the drum with material on the angle of inclination of the drum.

Рис. 4. Зависимость коэффициента заполнения барабана материалом от угла наклона барабана.

G_a – барабанда бір мезгілде болатын материалдың салмағы, кг;

G – құрылғының өнімділігі, кг/с;

K_f – толтыру коэффициенті.

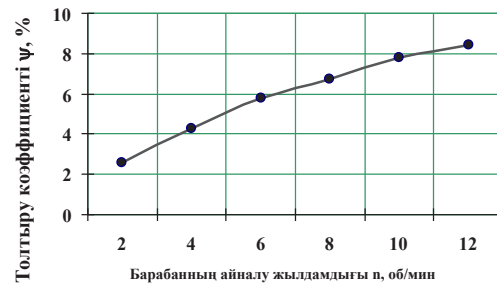
Материалдың салмағы G_a формула бойынша есептеледі [12]:

$$G_a = \frac{\pi D_\delta^2}{4} L_\delta \psi \rho, \quad (3)$$

D_δ – барабанның диаметрі, м;

L_δ – барабанның ұзындығы, м;

ρ_a – материалдың жапшай тығыздығы, кг/м³.

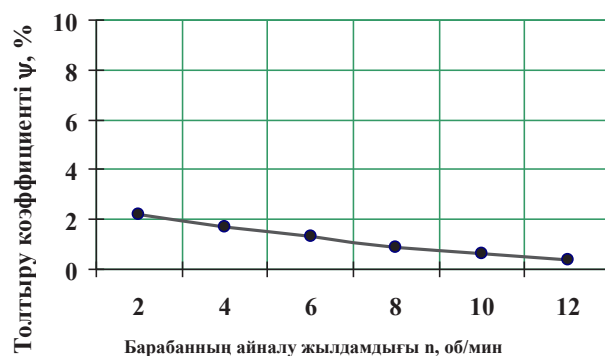


$\alpha = -1^\circ$; $n = 4,16$ об/мин; $\rho_m = 560$ кг/м³ болғанда.

Сурет 5. Барабанды материалмен толтыру коэффициентінің барабанның айналу жылдамдығына тәуелділігі.

Figure 5. Dependence of the drum filling coefficient with material on the drum rotation speed.

Рис. 5. Зависимость коэффициента наполнения барабана материалом от скорости вращения барабана.



$\alpha = 1^\circ$; $n = 4,16$ об/мин; $\rho_m = 560$ кг/м³ болғанда.

Сурет 6. Барабанды материалмен толтыру коэффициентінің барабанның айналу жылдамдығына тәуелділігі.

Figure 6. Dependence of the drum filling coefficient with material on the drum rotation speed.

Рис. 6. Зависимость коэффициента наполнения барабана материалом от скорости вращения барабана.

Алынған деректерді талдау және жалпылау нәтижесінде барабанды материалмен толтыру коэффициенті және аппараттағы бөлшектердің болу уақыты барабанның көлбеу бұрышына, оның айналу жылдамдығына, барабандағы салқындатқыштың жылдамдығына және саптаманың тиімділік коэффициентіне байланысты екендігі анықталды.

Қорытынды

Қайнаған қабаттағы ылғалдың алдын-ала әсер етуі және барабанның қимасы бойынша кептірілген материалды біркелкі бөлу арқылы «өлі» аймақтарды жою арқылы жылу алмасу процесінің тиімділігін арттыру, өйткені

құлаған бөлшектерді ыстық газдармен үрлеу кезінде материалға жылудың 70%-дан астамы беріледі. Сусызданған кезде ұсақ бөлшектерді бөлуді қолдану олардың қызып кетуіне және барабанның бүкіл ұзындығы бойынша қажетсіз тасымалдауға энергия шығындарының алдын алады. Айналымы қабаты бар аймақта кептіру агентінің жыл-

дамдығы артқан кезде қайнаған қабат аймағындағы материалдың мөлшері азаятыны дәлелденді, содан кейін берілген ылғал мөлшерін кетіру үшін қайнаған қабат аймағына аз мөлшерде газ беру керек. *W* ұлғаюымен материалдың қайнаған қабат аймағында болу уақыты да төмендейтіні анықталды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Yessenov M.K. Тау-кен және өңдеу өндірісінің шаң-тозаң деңгейін төмендету үшін технологиялық жабдықтарды экологиялық жаңғырту аспектілері. / Yessenov M.K., Ramatullaeva L.I., Kolesnikov A.S., Ivakhniyuk G.K. // Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетень. 2023. №10. Б. 136-148 (ағылшын тілінде)
2. Johnson D. Барабанның айналу жылдамдығының және бөгет конструкциясының бөлшектер жүйелерінің толтыру деңгейіне әсерін тәжірибелік және сандық зерттеу. / Johnson D., Williams R. // Ұнтақ және сусымалы машина жасау. 2021. №35 (5). Б. 77-86 (ағылшын тілінде)
3. Li Y. Айналымы барабандардағы бөлшектерді толтыру коэффициентіне қалқа конфигурацияларының әсері. / Li Y., Wang J., Zhang X. // Ұнтақ технологиясы. 2018. №331. Б. 100-110 (ағылшын тілінде)
4. Романков П.Г., Фролов В.Ф. Химиялық технологияның масса алмасу процесері (дисперсті қатты фазасы бар жүйелер): Л.: Химия, 1990. 296 б. (орыс тілінде)
5. Баумштейн И.П., Майсель Ю.А. Химиялық ойлаудағы кептіру процесерін автоматтандыру: М.: Химия. 1970. 269 б. (орыс тілінде)
6. Земскова В.Т. Дисперсті материалдарды дрілдейтін сұйық қабатта кептіру процесін математикалық модельдеу: автореф. дисс. ... т.ғ.к. Владимир: 1997. 15 б. (орыс тілінде).
7. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Жылу және масса тасымалдау процесерін жүйелік талдау: ИФЖ, 1980, Т. 39,3. 396 б. (орыс тілінде)
8. Кафаров В.В. Химия және химиялық технологиядағы кибернетика әдістері: М.: Химия, 1976, 464 б. (орыс тілінде)
9. Серімбетов Б.А. Жылжымалы тарату құрылғысы бар барабанды кептіру аппараттарын есептеу және модельдеу: автореф. дисс. ... канд. Шымкент: 1999. 27 б. (орыс тілінде)
10. Баумштейн И.П. Кептіру процесерін оңтайлы басқару міндеттерінің жіктелуі. // Химия өнеркәсібі. 1979. №6. Б. 370-372 (орыс тілінде)
11. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Химиялық технологиядағы оңтайландыру әдістері: М.: Химия, 1975, 575 б. (орыс тілінде)
12. Альпеисов Е.А. Барабан агрегатында майлы дақылдардың тұқымын кептіру процесерін күшейту: дисс. ... т.ғ. к. Л.: ЛТИХП, 1986. 174 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Yessenov M.K. Aspects of ecological modernization of technological equipment to reduce the level of dust from mining and processing production. / Yessenov M.K., Ramatullaeva L.I., Kolesnikov A.S., Ivakhniyuk G.K. // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2023. №10. p. 136-148 (in English)
2. Johnson D., Williams R. Experimental and numerical study of the effects of drum rotation speed and baffle design on the fill level of particulate systems. / Johnson D., Williams R. // Powder and Bulk Engineering. 2021. №35 (5). P. 77-86. (in English)
3. Li Y. Influence of baffle configurations on the fill factor of particulate materials in rotary drums. / Li Y., Wang J., Zhang X. // Powder Technology. 2018. №331. P. 100-110. (in English)
4. Romankov P.G., Fpolov V.F. Massoobmennye protsessy khimicheskoi tekhnologii (sistemy s dispersnoi tverdoi fazoi): L.: Khimiya, 1990. 296 s. [Romankov P.G., Frolov V.F. Mass transfer processes of chemical technology (systems with dispersed solid phase): L.: Chemistry, 1990. 296 p.] (in Russian)
5. Baumshtein I.P., Maizel' Yu.A. Avtomatizatsiya protsessov sushki v khimicheskoi promyshlennosti: M.: Khimiya. 1970. 269 s. [Baumshtein I.P., Maizel Yu.A. Automation of drying processes in the chemical industry: M.: Chemistry, 1970. 269 p.] (in Russian)
6. Zemskova V.T. Matematicheskoe modelirovanie protsessa sushki dispersnykh materialov v vibropsevdoozhizhennom sloe: avtoref. diss. ... k.t.n. Vladimir: 1997. 15 s. [Zemskova V.T. Mathematical modeling of the drying process of dispersed materials in a vibrofluidized bed: author's abstract. diss. ... Ph.D. Vladimir: 1997. 15 p.] (in Russian)
7. Kafarov V.V., Dorokhov I.N. Sistemnyi analiz protsessov teplo- i massoperenosa: IFZh, 1980, T. 39,3. 396 s. [Kafarov V.V., Dorokhov I.N. System analysis of heat and mass transfer processes: IFZH, 1980, Vol. 39,3. 396 p.] (in Russian)
8. Kafarov V.V. Metody kibernetiki v khimii i khimicheskoi tekhnologii: M.: Khimiya, 1976, 464 s. [Kafarov V.V. Methods of cybernetics in chemistry and chemical technology: M.: Chemistry, 1976. 464 p.] (in Russian)
9. Baumshtein I.P. Klassifikatsiya zadach optimal'nogo upravleniya protsessami sushki. // Khimicheskaya promyshlennost'. 1979. №6. S. 370-372 [Baumshtein I.P. Classification of problems of optimal control of drying processes. // Chemical industry. 1979. №6. P. 370-372] (in Russian)
10. Serimbetov B.A. Raschet i modelirovanie barabannykh sushil'nykh apparatov s podvizhnym raspreditel'nyim ustroystvom: avtoref. diss. ... kand. Shymkent: 1999. 27 s. [Serimbetov B.A. Calculation and modeling of drum dryers with a moving distribution device: author's abstract. diss. ... Ph.D. Shymkent: 1999. 27 p.] (in Russian)

11. Boyarinov A.I., Kafarov V.V. *Metody optimizatsii v khimicheskoi tekhnologii*: M.: Khimiya, 1975, 575 s [Boyarinov A.I., Kafarov V.V. *Optimization methods in chemical technology*: M.: Chemistry, 1975. 575 p.] (in Russian)
12. Al'peisov E.A. *Intensifikatsiya protsessov sushki semyan maslichnykh kul'tur v barabannom agregate: diss. ... k.t.n. L.: LTIKhP, 1986. 174 s. [Alpeisov E.A. Intensification of drying processes of oilseeds in a drum unit. diss. ... Ph.D. L.: LTIHP, 1986. 174 p.] (in Russian)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Yessenov M.K. *Аспекты экологической модернизации технологического оборудования для снижения уровня запыленности горнодобывающего и перерабатывающего производства*. / М.К. Yessenov, L.I. Ramatullaeva, A.S. Kolesnikov, G.K. Ivakhniyuk. // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023. №10. С. 136-148 (на английском языке)
2. Johnson D. *Экспериментальное и численное исследование влияния скорости вращения барабана и конструкции перегородок на уровень заполнения сажевых систем*. / Johnson D., Williams R. // *Порошковая и сыпучая техника*. 2021. №35 (5). С. 77-86 (на английском языке).
3. Li Y. *Влияние конфигурации перегородок на коэффициент заполнения сыпучими материалами во вращающихся барабанах*. / Li Y., Wang J., Zhang X. // *Порошковые технологии*. 2018. №331. С. 100-110 (на английском языке)
4. Романков П.Г., Фролов В.Ф. *Массообменные процессы химической технологии (системы с дисперсной твердой фазой)*: Л.: Химия, 1990. 296 с. (на русском языке)
5. Баумштейн И.П., Майзель Ю.А. *Автоматизация процессов сушки в химической промышленности*: М.: Химия. 1970. 269 с. (на русском языке)
6. Земскова В.Т. *Математическое моделирование процесса сушки дисперсных материалов в вибропсевдооживленном слое: автореф. дисс. ... к.т.н. Владимир: 1997. 15 с. (на русском языке)*
7. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. *Системный анализ процессов тепло- и массопереноса: ИФЖ, 1980, Т. 39,3. 396 с. (на русском языке)*
8. Кафаров В.В. *Методы кибернетики в химии и химической технологии*: М.: Химия, 1976, 464 с. (на русском языке)
9. Баумштейн И.П. *Классификация задач оптимального управления процессами сушки*. // *Химическая промышленность*. 1979. №6. С. 370-372 (на русском языке)
10. Серимбетов Б.А. *Расчет и моделирование барабанных сушильных аппаратов с подвижным распределительным устройством: автореф. дисс. ... канд. Шымкент: 1999. 27 с. (на русском языке)*
11. Бояринов А.И., Кафаров В.В. *Методы оптимизации в химической технологии*: М.: Химия, 1975, 575 с. (на русском языке)
12. Альпеисов Е.А. *Интенсификация процессов сушки семян масличных культур в барабанном агрегате: дисс. ... к.т.н. Л.: ЛТИХП, 1986. 174 с. (на русском языке)*

Авторлар туралы мәліметтер:

Есенов М.К., М. Әуезов атындағы Қазақстан университетінің КеАҚ «Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау» кафедрасының докторанты (Шымкент қ., Қазақстан), kticz@bk.ru; <https://orcid.org/0009-0009-9925-5049>

Раматуллаева Л.И., М. Әуезов атындағы Қазақстан университетінің КеАҚ «Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау» кафедрасының байланысты профессоры, т.ғ.к. (Шымкент қ., Қазақстан), Ramatullaeva_l@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1771-9903>

Волненко А.А., М. Әуезов атындағы Қазақстан университетінің КеАҚ «Механика және машина жасау» ФЗИ директоры, т.ғ.д., профессор (Шымкент қ., Қазақстан), nii_mt@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6800-9675>

Ивахнюк Г.К., Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институтының профессоры 2328 (Санкт-Петербург қ., Ресей), fireside@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3983-2328>

Information about authors:

Yessenov M.K., doctorant of the Department of «Life Safety and Environmental Protection» of the NCJCK of the South Kazakhstan University named after M. Aueyzov (Shymkent, Kazakhstan)

Ramatullaeva L.I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Life Safety and Environmental Protection» of the NCJCK of the M. Aueyzov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan)

Volnenko A.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Research Institute «Mechanics and Mechanical Engineering» of the NCJCK of the M. Aueyzov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan)

Ivakhniyuk G.K., Professor St.-Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia)

Информация об авторах:

Есенов М.К., докторант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защиты окружающей среды» НАО Южно-Казахстанского университета им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан)

Раматуллаева Л.И., к.т.н, асоц. профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защиты окружающей среды» НАО Южно-Казахстанского университета им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан)

Волненко А.А., д.т.н, профессор, директор НИИ «Механика и машиностроение» НАО Южно-Казахстанского университета им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан)

Ивахнюк Г.К., профессор Санкт-Петербургского государственного технологического института (г. Санкт-Петербург, Россия)

miningmetals

UZBEKISTAN

18-я Международная выставка
**Горное дело, металлургия
и металлообработка**

22 | 23 | 24 Октября 2024

Узэкспоцентр, Ташкент, Узбекистан



Iteca Exhibitions

Тел: +998 71 205 18 18; Факс: +998 71 237 22 72

E-mail: mining@iteca.uz; Web: www.mining.uz

 @itecaExhibitions

 @iteca

 @itecaExhibitions

 @iteca_exhibitions



Код МРНТИ 86.40.00

Б.Т. Уахитова¹, М.М. Тайжигитова¹, *Г.С. Нурбосынова², Р.Р. Саитгалиев¹
¹ZHUBANOV UNIVERSITY (г. Актөбе, Казахстан),
²ZHETYSU UNIVERSITY (г. Талдықорган, Казахстан)

АНАЛИЗ ТРАВМАТИЗМА В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ АКТЮБИНСКОГО РЕГИОНА В ПЕРИОД С 2013-2022 ГГ.

Аннотация. Статья посвящена исследованию производственного травматизма в горно-металлургической отрасли Казахстана на примере Актюбинского завода ферросплавов (АЗФ) и Донского горно-обогатительного комбината (ДГОК) за период с 2013 по 2022 годы. В работе рассматриваются ключевые аспекты системы безопасности труда на этих предприятиях, включая использование современного оборудования, обучение персонала и контроль над соблюдением норм безопасности. Исследование включает анализ данных о несчастных случаях с использованием статистических методов, включая коэффициенты частоты, тяжести, общего травматизма и смертности. Полученные результаты подчеркивают необходимость дальнейшего усовершенствования системы безопасности для сокращения числа производственных несчастных случаев и повышения общей безопасности труда в отрасли.

Ключевые слова: несчастный случай, травматизм, коэффициент частоты, коэффициент тяжести, показатель общего травматизма, коэффициент смертности.

2013-2022 жж. аралығындағы Ақтөбе өңірінің тау-кен металлургия саласындағы жарақаттануды талдау

Андатпа. Мақала 2013-2022 жылдар аралығындағы Ақтөбе ферроқорытпа зауыты (АФЗ) және Дөң байыту комбинаты (ДКБК) мысалында Қазақстанның тау-кен металлургия саласындағы өндірістік жарақаттануды зерттеуге арналған. Жұмыста осы кәсіпорындардағы еңбек қауіпсіздігі жүйесінің негізгі аспектілері, соның ішінде заманауи жабдықты пайдалану, қызметкерлерді оқыту және қауіпсіздік ережелерінің сақталуын бақылау қарастырылады. Зерттеуге жиілік, ауырлық, жалпы жарақат және өлім коэффициенттерін қоса алғанда, статистикалық әдістерді пайдалана отырып, жазатайым оқиғалар туралы деректерді талдау кіреді. Нәтижелер өндірістік жазатайым оқиғалардың санын азайту және саладағы жалпы еңбек қауіпсіздігін арттыру үшін қауіпсіздік жүйесін одан әрі жетілдіру қажеттілігін көрсетеді.

Түйінді сөздер: жазатайым оқиға, жарақаттану, жиілік коэффициенті, ауырлық коэффициенті, жалпы жарақат көрсеткіші, өлім коэффициенті.

Analysis of injuries in the mining and metallurgical industry of the Aktobe region in the period from 2013-2022

Abstract. The article is devoted to the study of occupational injuries in the mining and metallurgical industry of Kazakhstan on the example of the Aktobe Ferroalloy Plant (AZF) and the Don Processing Plant (DGO) for the period from 2013 to 2022. The paper examines key aspects of the occupational safety system at these enterprises, including the use of modern equipment, staff training and monitoring compliance with safety standards. The study includes the analysis of accident data using statistical methods, including coefficients of frequency, severity, total injury and mortality. The results highlight the need for further improvement of the safety system to reduce the number of industrial accidents and improve overall occupational safety in the industry.

Key words: accident, injury, frequency coefficient, severity coefficient, general injury index, mortality rate.

Введение

Производственный травматизм остается одной из актуальных проблем в горно-металлургической отрасли Казахстана. На предприятиях этой отрасли установлена эффективная система безопасности труда и охраны здоровья сотрудников. Система безопасности труда в горно-металлургической отрасли в Казахстане играет ключевую роль в обеспечении безопасных условий работы на предприятиях. В стране действуют законы и нормативные акты, направленные на защиту трудящихся от опасностей и профессиональных рисков, связанных с добычей и обработкой полезных ископаемых. Важными аспектами являются обучение работников правилам безопасности, использование современного оборудования и технологий, а также систематический контроль над соблюдением норм безопасности на производстве. Тем не менее, данная промышленность характеризуется высоким уровнем опасности из-за отсутствия постоянной рабочей зоны на основных рабочих местах и постоянных изменений в производственных и технологических условиях, что делает ее одной из самых опасных с точки зрения обеспечения безопасных условий труда.

Материалы и методы

Было проведено исследование, направленное на оценку уровня травматизма на предприятиях горно-металлургической отрасли с использованием данных Актюбинского завода ферросплавов (АЗФ) и Донского горно-обогатительного комбината (ДГОК) за период с 2013 по 2022

годы. Анализ результатов обработки экспериментальных данных был осуществлен с применением статистических методов [1]. Для оценки уровня травматизма использовался статистический подход, включающий анализ данных о несчастных случаях за определенный период времени. Этот метод предполагает вычисление нескольких коэффициентов, которые отражают относительные показатели травматизма на предприятии. Такой подход позволяет получить всестороннюю оценку уровня травматизма, основываясь не только на абсолютном числе несчастных случаев, произошедших на предприятии. Коэффициенты включают в себя частоту травматизма (**Кч**), тяжесть травматизма (**Кт**), общий показатель травматизма (**Ко**) и показатель травматизма с летальным исходом (**Кс**).

Результаты

Актюбинский завод ферросплавов. Изучение динамики показателей производственного травматизма на АЗФ свидетельствует, что за период с 2013 по 2022 год наблюдалось изменение в количестве производственных несчастных случаев. В начале рассматриваемого периода (2013-2016 гг.) происходило снижение числа несчастных случаев, однако в последующие годы (2017-2018 гг.) наблюдался рост, а в 2019, 2020 и 2022 годах был отмечен резкий рост количества несчастных случаев. На рисунке 1 представлена диаграмма зависимости числа несчастных случаев за исследуемый период. Эта зависимость представлена в виде полиномиальной модели. Анализ этой модели показывает, что число несчастных случаев

за последние годы имеет тенденцию к повышению. Среднее количество происшествий за один год в течение всего периода равняется 3,2. Среди пострадавших преобладают случаи с тяжелыми последствиями, а также смертельные исходы. Из 32 несчастных случаев один относится к групповому виду, из общего числа пострадавших – 35 человек: 18 случаев с тяжелым исходом, 12 случаев с легким исходом и 5 смертельных случаев [2].



Рис. 1. График зависимости показателя количества несчастных случаев в исследуемый период на Актюбинском заводе ферросплавов.

Сурет 1. Ақтөбе ферроқорытпа зауытында зерттелетін кезеңдегі жазатайым оқиғалар санының көрсеткішіне тәуелділік кестесі.

Figure 1. Graph of the dependence of the indicator of the number of accidents during the study period at the Aktobe Ferroalloy plant.

Распределение коэффициента частоты (рис. 2) соответствует распределению числа несчастных случаев с почти идентичными пиками максимума и минимума по годам. Коэффициент аппроксимации этой зависимости составляет 0,5976, что подтверждает правильность описываемой связи между частотой несчастных случаев и временным периодом, средняя величина которой за год составляет 0,78. Важно отметить динамику изменения ключевых показателей, таких как частота несчастных случаев на тысячу работников. В период с 2013 по 2022 годы этот показатель колеблется от 1,21 до 0,25, с заметным ростом с 2017 по 2020 годы, достигая максимума в 2019 году (1,63).

Коэффициент смертности (K_c), представленный на том же графике, демонстрирует полиномиальную зависимость за исследуемый период со значениями 0,6 в 2014 году, 0,26 в 2018 году, 0,23 в 2021 году и 0,24 в 2022 году. В действительности точки также были аппроксимированы полиномом в степени 4 (с помощью документа Microsoft Excel): $y = 0,0006x^4 - 4,6376x^3 + 14051x^2 + 07x + 10$ и $R^2 = 0,7828$.

Есть высшая точка, показана в 2013 г. В основном распространение величины смертности имеет непостоянное свойство с моментами падения и роста. Среднее значение $K_c = 0,13$ [3]. Выводы подчеркивают необходимость улучшения мер безопасности и управления рисками на заводе для сокращения числа несчастных случаев и повышения общей безопасности труда.

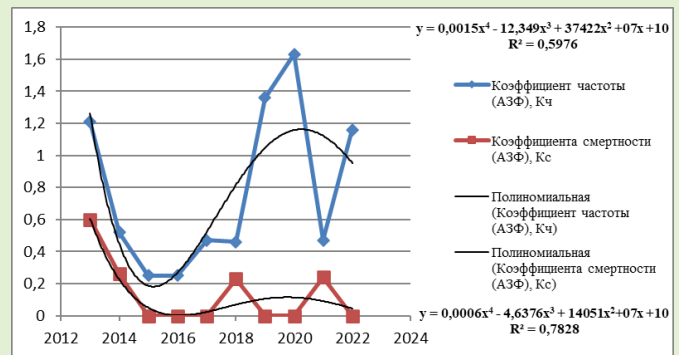


Рис. 2. График зависимости коэффициента частоты $K_f(y)$ и коэффициента смертности $K_c(y)$ от времени исследований $T(x)$.

Сурет 2. $N(x)$ зерттеу уақытына $K_C(y)$ жиілігі коэффициентінің және $K_C(y)$ өлім коэффициентінің тәуелділік графигі.

Figure 2. A graph of the dependence of the frequency coefficient of $H_f(y)$ and the mortality coefficient of $C_s(y)$ on the time of studies $N(x)$.

На изображении 3 представлены данные о положении кривой коэффициента тяжести травматизма (K_m) и общего травматизма (K_o) на АЗФ за период с 2013 по 2022 годы. Кривая K_m аппроксимирована полиномом четвертой степени с коэффициентом $R^2 = 0,4$. Анализ графика показывает увеличение тяжести травм в течение исследуемого периода, достигающее пика в 2017 году, где максимальное значение составило 141. В 2021 году наблюдается высокий уровень травматизма, равный 122, при среднем значении $K_{тср}$ за период 90,3.

Распределение общего травматизма K_o за исследуемый период показывает статистические данные, которые представлены кривой, аппроксимированной полиномом четвертой степени с уравнением $y = 0,2177x^4 - 1758x^3 + 06x^2 + 09x + 12$ и коэффициентом аппроксимации $R^2 = 0,721$. Из рисунка 3 следует, что значение K_o достигло максимума в 2020 году (131), затем резко снизилось в 2021 году до 57,34 и в 2022 году снова возросло до 112,7. Среднее значение общего травматизма за период составило $K_{оср} = 64,88$ [4].

Анализ данных зависимостей показывает, что коэффициенты частоты, тяжести и общего травматизма значительно изменялись в течение исследуемого периода. Например, коэффициент частоты травматизма колебался от 0,25 до 1,63 между 2016 и 2020 годами. Коэффициент тяжести травматизма варьировался от 15,5 до 141, с двумя пиками в 2014 и 2017 годах (соответственно, 15,5 и 141). Значения коэффициента общего травматизма за тот же период изменялись от 8,1 до 131 (в 2014 и 2020 годах соответственно, 8,1 и 131).

Исследование динамики этих коэффициентов показывает, что они значительно варьируются от года к году, как отмечено на рисунках 2, 3 и 4. Наблюдается тенденция к росту абсолютных значений коэффициентов частоты, тяжести и общего травматизма в последние годы при значительных колебаниях их значений. Это подчеркивает необходимость улучшения комплексных мер для снижения этих коэффициентов и улучшения условий охраны труда [5].

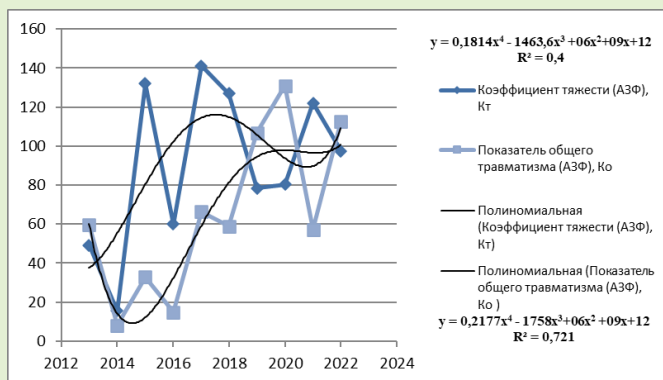


Рис. 3. Зависимость показателя тяжести $K_m(y)$ и показателя общего травматизма $K_o(y)$ от времени исследований $T(x)$.

Сурет 3. $K_T(y)$ ауырлық көрсеткіші мен $K_o(y)$ жалпы жаракат көрсеткішінің $N(x)$ зерттеу уақытына тәуелділігі.

Figure 3. The dependence of the severity index of $C_t(y)$ and the index of general injury of $C_o(y)$ on the time of the studies $N(x)$.

Результаты исследования подчеркивают важность изменения указанных факторов для итоговых показателей. Очевидно, что необходимо улучшение системы обеспечения безопасности труда для предприятий. Это включает усиление организационно-технических мероприятий, по-

вышение требований к безопасности на рабочих местах при технологических операциях, техническом обслуживании и ремонте, а также при выполнении других видов работ. Требуется особое внимание к анализу происшествий с учетом факторов, влияющих на количество несчастных случаев, таких как организация труда и использование передовых методов на рабочих местах [6].

В таблице 1 представлена информация о происшествиях в различных цехах АЗФ. Согласно этим данным, самыми опасными с точки зрения травматизма за отчетный период являются следующие цеха: ПЦ №1 – 8 несчастных случаев, ПЦ №2 – 7 случаев, ПЦ №4 – 7 несчастных случаев (включая 1 случай с летальным исходом), и ЦРМО – 4 случая. Эти четыре цеха отвечают за 26 несчастных случаев на заводе за период с 2013 по 2022 годы. Кроме того, групповой случай также отмечен в ПЦ №2. Вспомогательные цеха зарегистрировали 4 случая с летальным исходом, что составляет 14,3% от общего числа смертельных случаев на заводе. Исследования показывают, что высокие показатели травматизма характерны для ответственных и сложных профессиональных задач [7].

Из анализа данных Актюбинского завода ферросплавов видно, что количество производственных несчастных случаев с 2013 по 2022 год значительно колебалось. В начале периода наблюдалось снижение случаев, однако с 2017 года начался рост, достигший пика в 2019 и 2020 годах. Тенденция к увеличению числа несчастных случаев подтверждается как графиками, так и числовыми данными.

Таблица 1

Распределение травматизма по цехам АЗФ в период с 2013 по 2022 г.

Кесте 1

2013 жылдан 2022 жылга дейінгі кезеңде АЗФ цехтары бойынша жаракаттануды болу

Table 1

The distribution of injuries by AZF workshops in the period from 2013 to 2022

Цеха завода	Годы										Итого
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
ПЦ №1	1	2						2		3	8
ПЦ №2	1						5			1	7
ЦГП			1								1
ЦПШ										1	1
ЦШП									1		1
ЭРЦ		1 (1 с)									1 (1)
ПЦ №4					2		2	2	1 (1)		7 (1)
ЖДЦ	2 (2 с)										2 (2)
ЦРМО				1			1	2			4
ПО						2 (1)					2 (1)
АТЦ								1			1
Итого	4 (2)	3 (1)	1	1	2	2 (1)	8	7	2 (1)	5	35

Примечание: (с) – случаи со смертельным исходом; ПЦ – плавильный цех; ЦГП – цех готовой продукции; ЦПШ – цех переработки шлака; ЦШП – цех шихтоподготовки; ЭРЦ – электроремонтный цех; ЖДЦ – железнодорожный цех; ЦРМО – цех по ремонту металлургического оборудования; ПО – подрядные организации; АТЦ – автотранспортный цех 7.

ми, включая коэффициенты частоты и смертности. Кроме того, анализ коэффициентов тяжести и общего травматизма показывает, что на заводе произошли значительные изменения в уровне травматизма, достигавшего пиковых значений в различные годы. Например, коэффициент тяжести травматизма достигал максимума в 2017 году, а общий травматизм – в 2020 году. Наиболее высокий уровень травматизма зафиксирован в цехах ПЦ №1, ПЦ №2, ПЦ №4 и ЦРМО, что указывает на необходимость улучшения мер безопасности в этих подразделениях. Также стоит отметить высокую долю тяжелых и смертельных случаев, что подчеркивает значимость принятия дополнительных мер по предотвращению подобных происшествий [8].

Донской горно-обогатительный комбинат. За период с 2013 по 2022 год на Донском ГОКе был проведен анализ уровня травматизма с использованием статистических методов. В этот период на заводе зарегистрировано 156 несчастных случаев (см. таблица 5), включая 10 смертельных, 61 тяжелый случай и 4 групповых несчастных случая. Общее количество пострадавших составило 160 человек. Среднее количество несчастных случаев в год за этот период составило примерно 15, включая около 0.9% (почти один случай в год) с летальным исходом. Доля тяжелых случаев составляет 38.1%, а доля смертельных случаев – 6.25% от общего числа пострадавших за этот период.

Были определены все коэффициенты травматизма (*Кч*, *Кс*, *Кт*, *Ко*), и [8] содержит полные данные по этим показателям для Донского ГОКа. Сравнение этих коэффициентов позволило проанализировать динамику состояния травматизма за исследуемый период времени [9].



Рис. 4. График зависимости показателя количества несчастных случаев в исследуемый период на ДГОК.

Сурет 4. Дон байыту комбинатында зерттелетін кезеңдегі жазатайым оқиғалар санының көрсеткішіне тәуелділік кестесі.

Figure 4. Graph of the dependence of the indicator of the number of accidents in the study period at the Don Processing Plant.

На Графике 4 изображена кривая распределения числа несчастных случаев на ДГОКе с 2013 по 2022 год в форме полинома четвертой степени: $y = 0,0114x^4 - 0,1552x^3 + 0,7124x^2 - 1,5756x + 15$. Коэффициент аппроксимации R^2 составляет 0,69, что указывает на умеренную сходимость модели к данным. За весь указанный период наблюдается зигзагообразный характер числа несчастных случаев, и

анализ модели показывает тенденцию к увеличению числа происшествий в последние годы. Среднее число несчастных случаев в год за этот период составляет 15,6.

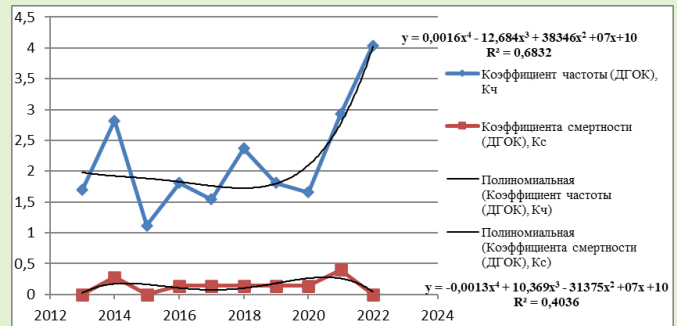


Рис. 5. График зависимости коэффициента частоты $K_{ч}$ (y) и коэффициента смертности $K_{с}$ (y) от времени исследований T (x) ДГОК.

Сурет 5. N (x) зерттеу уақытына $K_{ч}$ (y) жиілігі коэффициентінің және $K_{с}$ (y) өлім коэффициентінің тәуелділік графигі .

Figure 5. A graph of the dependence of the frequency coefficient of H_f (y) and the mortality coefficient of C_s (y) on the time of studies N (x).

На рисунке 5 показаны зависимости распределения коэффициента частоты несчастных случаев (*Кч*) и коэффициента смертности (*Кс*) за исследуемый период. Распределение *Кч* очень схоже с распределением числа несчастных случаев, с выраженными пиками и минимумами в разные годы. Коэффициент $R^2 = 0,6832$ свидетельствует о высокой степени достоверности зависимости *Кч* от времени в исследуемом периоде, среднегодовое значение $K = 2,18$.

Распределение *Кс* также было аппроксимировано полиномом 4-й степени (с использованием Microsoft Excel): $y = -0,0013x^4 + 10,369x^3 - 31375x^2 + 07x + 10$, где коэффициент аппроксимации $R^2 = 0,4036$. Наблюдаются два пика максимума в 2014 г. и самым высоким в 2021 г. В общем, распределение *Кс* характеризуется неравномерным профилем с резкими всплесками и спадами, что требует описания нелинейной функцией высокой степени. Среднее значение *Кс* равно 0,138.

На рисунке 6 показан график функции распределения коэффициента тяжести (*Кт*) и распределение показателя общего травматизма (*Ко*) на протяжении исследуемого периода на ДГОКе. Кривая на графике аппроксимируется полиномиальной функцией 4-й степени с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,91$. Анализируя эту функцию, можно отметить увеличение значений *Кт* на протяжении всего периода с пиками в 2022 году. Максимальное значение *Кт*, равное 43,6, было достигнуто в 2022 году, а среднее значение *Ко* составило 26,7 за весь исследуемый период. Распределение *Ко* хорошо описывается полиномом 4-й степени $y = 0,0715x^4 - 576,67x^3 + 06x^2 + 09x + 12$ с коэффициентом $R^2 = 0,9628$, что подтверждает точность аппроксимации. В целом, анализируя представленный график (см. график 2), можно заключить, что показатель *Ко* с начала исследуемого периода показывает устойчивую тенденцию к повышению с минимального значения в 2015

году (23,22) до максимального в 2022 году (176,5), со средним значением $A_{оср} = 62,12$ за весь период. Эти данные свидетельствуют о высоком уровне травматизма на ДГО-Ке в течение всего исследуемого периода.

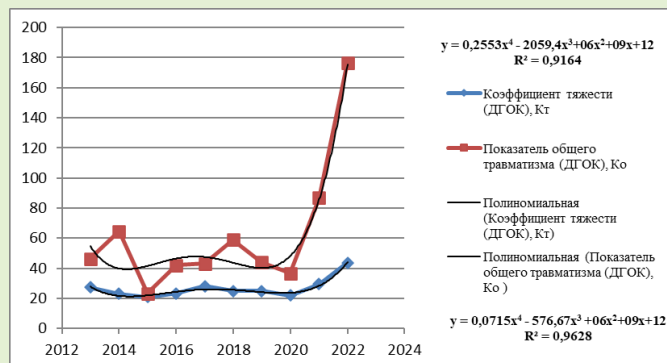


Рис. 6. Зависимость показателя тяжести K_t (y) и показателя общего травматизма K_o (y) от времени исследований N (x) на АЗФ.

Сурет 6. K_T (y) ауырлық көрсеткішінің және K_o (y) жалпы жарақаттану көрсеткішінің АЗФ бойынша N (x) зерттеу уақытына тәуелділігі.

Figure 6. The dependence of the severity index of C_t (y) and the index of total injury of C_o (y) on the time of studies N (x) on the AZF.

В таблице 2 представлена информация о числе происшествий среди различных цехов и шахт на ДГОКе. Шахты зарегистрировали 104 несчастных случая из 160 за весь период, что составляет более 65% от общего числа случаев. Среди них было 10 смертельных случаев, что составляет 80% от общего числа смертей, и 40 случаев с тяжелыми последствиями из 61 на всем ДГОКе, что составляет 66% [10].

Таким образом, шахты являются наиболее опасными по числу происшествий со смертельным исходом и тяжестью последствий. Среди шахт особенно выделяется шахта ДНК, где зарегистрировано 58 несчастных случаев, включая 18 тяжелых и 6 смертельных.

Из анализа данных о производственном травматизме на Донском горно-обогатительном комбинате с 2013 по 2022 год можно сделать следующие выводы: за исследуемый период было зарегистрировано 156 несчастных случаев, в которых пострадало 160 человек. Это включает 10 смертельных случаев, 61 случай с тяжелыми последствиями и 4 групповых несчастных случая. На графиках представлены полиномиальные аппроксимации числа несчастных случаев, коэффициента частоты ($Kч$) и коэффициента смертности ($Kс$). В последние годы наблюдается увеличение числа несчастных случаев, что отражается на росте коэффициента общего травматизма ($Kо$) и коэффициента тяжести ($Kт$). Шахты составляют более 65% от общего

Таблица 2

Распределение травматизма по цехам ДГОКа в период с 2013 по 2022 гг.

Кесте 2

2013 жылдан 2022 жылга дейінгі кезеңде ДБКтың цехтары бойынша жарақаттануды бөлу

Table 2

The distribution of injuries in the workshops of the Dgoc in the period from 2013 to 2022

Цехи завода	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Всего (10 лет)
ФООР	1 (т)	1 (л)		1 (т)	1 л 1 т	2 л	1 л	1 л	4 л	5 л 2 т	20 (15 л, 5 т)
ШСЦ	1 (т)	2 (т)		2 (т)	2 т	1 з			1 л 1 с	1 л 2 т	13 (2 л, 9 т, 1 з, 1с)
Шахта Молодежная	2 (л) 1 (т)	1 (л) 3 (т) 1 (с)	1 (л) 1 (т)	2 (л) 1 (с)	-	3 л 4 т	2 л	3 л	3 л	-	28 (17 л, 9 т, 2 с)
Шахта ДНК	1 (л) 3 (т) 1 (з)	5 (л) 1 (т) 1 (с)	1 (л)		1 л 1 т 1 с	1 л 4 т	2 л 3 т 1 с	6 л 1 с	5 л 2 т 2 с	11 л 4 т	58 (33 л, 18 т, 1 з, 6 с)
ДОФ				1 (л) 2 (т)	1 л	1 т					5 (2 л, 3 т)
Рудник Донской		1 (л) 1 (т)		1 (т)	-		1 т			1 т	5 (1 л, 4 т)
Прочее	2 (т)	1 (л) 2 (т)	3 (л) 2 (т)	2 (л) 1 (з)	4 т	1 с	4 л	1 л	4 л	1 л 3 т	31 (16 л, 13 т, 1 з, 1 с)
Всего	12 (3 л, 8 т, 1 з)	20 (9 л, 9 т, 2 с)	8 (5 л, 3 т)	13 (5 л, 6 т, 1 з, 1 с)	12 (3 л, 8 т, 1 с)	17 (6 л, 9 т, 1 з, 1 с)	14 (9 л, 4 т, 1 с)	12 (11 л 1 с)	22 (17 л, 2 т, 3 с)	30 (18 л, 12 т)	160 (86 л, 61 т, 3 з, 10 с)

Примечание: (с, т, з) – случаи со смертельным, тяжелым или групповым исходом; ФООР – фабрика по обогащению и окучиванию руды; ШСЦ – шахтостроительный цех; ДОФ – донская обогатительная фабрика.

числа происшествий, что делает их наиболее опасными местами среди всех подразделений ГОКа. Особенно выделяется шахта ДНК, где произошло наибольшее количество несчастных случаев, включая смертельные и случаи с тяжелыми последствиями. Высокие значения коэффициентов травматизма требуют серьезных мер по улучшению условий труда и безопасности на предприятии. Анализ динамики показателей позволяет выявлять зоны риска и принимать целенаправленные меры по их снижению. Таким образом, анализ данных указывает на необходимость дальнейшего усилия в области безопасности труда на горно-металлургическом комплексе, особенно в шахтных подразделениях, чтобы уменьшить число происшествий и их тяжесть.

Выводы

В статье рассматривается проблема производственного травматизма в горно-металлургической отрасли Казахстана, основываясь на данных двух предприятий: Актюбинского завода ферросплавов (АЗФ) и Донского горно-обогатительного комбината (ДГОК). Общий вывод основывается на нескольких ключевых моментах:

1. Обе организации сталкиваются с высоким уровнем травматизма. На протяжении исследуемого периода наблюдаются значительные колебания в количестве несчастных случаев, коэффициентах частоты (**Кч**),

тяжести (**Кт**), общего травматизма (**Ко**) и коэффициента смертности (**Кс**).

2. На АЗФ и ДГОК зафиксированы периоды как с существенным снижением, так и с ростом числа несчастных случаев. Особенно значимыми являются последние годы, когда наблюдается рост показателей травматизма, что требует дополнительного внимания и мер безопасности.

3. Выявлены ключевые цеха и участки с высоким уровнем травматизма. На обоих предприятиях особое внимание уделяется необходимости улучшения систем безопасности и управления рисками.

4. Использование статистических методов позволило оценить динамику травматизма с точки зрения различных коэффициентов, что дает более объективное представление о текущем состоянии и тенденциях.

Таким образом, несмотря на наличие эффективных систем безопасности, горно-металлургическая отрасль Казахстана продолжает сталкиваться с серьезными вызовами в области обеспечения безопасных условий труда. Для снижения уровня травматизма необходимо активное внедрение новых технологий, усиление обучения работников и постоянное улучшение системы безопасности на предприятиях, включая организационные и технические меры, чтобы снизить количество производственных несчастных случаев и повысить общую безопасность труда.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Уахитова Б.Т. Анализ уровня производственного травматизма на примере промышленного предприятия металлургического кластера. // Известия НАН РК, серия геологических и технических наук. 2022. Т. 1. №451. С. 145-151 (на английском языке)
2. Имангазин М.К. Анализ травматизма на производстве ферросплавов в Республике Казахстан. // Академическое издание LAP LAMBERT. 2014. С. 381 (на русском языке)
3. Хакимжанов Т.Е. Охрана труда: Алматы: ОВЕРО, Казахстан, 2008, С 255-258 (на русском языке)
4. Uakhitova Bagdagul. Анализ травматизма и психологические исследования работников плавильных цехов АЗФ. // Известия НАН РК, серия геологических и технических наук. 2022. Т. 2. №452. С. 242-258 (на английском языке)
5. Бобров И.А. Необходимое изменение обеспечения безопасности труда – переход к управлению риском. // Безопасность труда в промышленности. 2008. №1. С. 46-50 (на русском языке)
6. Уахитова Б.Т. Анализ статистических данных тестирования. // Сборник трудов ЛПП республиканской научно-практической конференции «Молодежь, наука и техника: пути совершенствования и интеграции. Темиртау: 2023. С. 198-202 (на русском языке)
7. Раматуллаева Л.И. Анализ производственного травматизма на примере металлургического предприятия. // Горный журнал Казахстана. 2024. №4 (228). С. 43-50 (на казахском языке)
8. Кловач Е.В. Система промышленной безопасности. / Е.В. Кловач, В.И. Сидоров. // Безопасность труда в промышленности. 2009. №8. С. 2-7 (на русском языке)
9. Моурас Ф. Обзор методов управления рисками, техник и программного обеспечения, наиболее часто используемых в области охраны труда. / Ф. Моурас, А. Бадри. // Международный журнал техники безопасности. 2019. №10. С. 149-160 (на английском языке)
10. Seitova G. Исследование и оценка состояния производственного травматизма на донском горно-обогатительном комбинате. // Известия НАН РК, серия геологических и технических наук. 2023. Т. 6. №462. С. 185-195 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Uakhitova Bagdagul. Металлургиялық кластердің өнеркәсіптік кәсіпорны мысалында өндірістік жарақаттану деңгейін талдау. // ҚР ҰҒА хабарлары, геология және технологиялық ғылымдар сериясы. 2022. №1. Б. 145-151 (ағылшын тілінде)

2. Имангазин М.К. Қазақстан Республикасының ферроқорытпа өндірісіндегі жарақаттарды талдау: LAP Lambert Академиялық басылымы. 2014. Б. 373 (орыс тілінде)
3. Хакімжанов Т.Е. Еңбекті қорғау: Алматы: ОВЕРО, Қазақстан, 2008, Б. 255-258 (орыс тілінде)
4. Uakhitova Bagdagul. Ақтөбе ферроқорытпа зауытының балқыту цехтары қызметкерлерінің жарақаттануын талдау және психологиялық зерттеулер. // ҚР ҰҒА хабарлары, геология және технологиялық ғылымдар сериясы. 2022. Т. 2. №452. Б. 242-258 (ағылшын тілінде)
5. Бобров И.А. Еңбек қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі қажетті өзгеріс-тәуекелдерді басқаруға көшу. // Өнеркәсіптегі еңбек қауіпсіздігі. 2008. №1. Б. 46-50 (орыс тілінде)
6. Уахитова Б.Т. Тестілеудің статистикалық деректерін талдау. // «Жастар, ғылым және техника, жетілдіру және интеграциялау жолдары». Теміртау: 2023. Б. 198-202 (орыс тілінде)
7. Раматуллаева Л.И. Металлургиялық кәсіпорын мысалында өндірістік жарақаттануды талдау. // Қазақстан тау-кен журналы. 2024. №4 (228). Б. 43-50 (қазақ тілінде)
8. Кловач Е.В. Өнеркәсіптік қауіпсіздік жүйесі. / Е.В. Кловач, В.И. Сидоров. // Өнеркәсіптегі еңбек қауіпсіздігі. 2009. №8. Б. 2-7 (орыс тілінде)
9. Моурас Ф. Еңбекті қорғау саласында жиі қолданылатын тәуекелдерді басқару әдістеріне, әдістеріне және бағдарламалық жасақтамасына шолу. / Ф. Моурас, А. Бадри. // Халықаралық қауіпсіздік журналы. 2019. №10. Б. 149-160 (ағылшын тілінде)
10. Seitova G. Дон тау-кен байыту комбинатында өндірістік жарақаттанудың жай-күйін зерттеу және бағалау. // ҚР ҰҒА хабарлары, геология және технологиялық ғылымдар сериясы. 2023. Т. 6. №462. Б. 185-195 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Uakhitova Bagdagul. Analysis of the level of industrial injuries on the example of an industrial enterprise of a metallurgical cluster. // Reports of NAS RK, geology and technological sciences series. 2022. №1. P. 145-151 (in English)
2. Imangazin M.K. Analiz travmatizma na ferrosplavnom proizvodstve Respubliki Kazakhstan. // Akademicheskoe izdatel'stvo LAP Lambert. 2014. S. 373 [Imangazin M.K. Analysis of injuries in ferroalloy production of the Republic of Kazakhstan. // LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken. 2014. P. 373] (in Russian)
3. Khakimzhanov T.E. Okhrana truda: Almaty: OZERO, Kazakhstan, 2008, S. 255-258 [Khakimzhanov T.E. Labor protection: Almaty: OZERO, Kazakhstan, 2008, P. 255-258] (in Russian)
4. Uakhitova Bagdagul. Analysis of injuries and psychological researches of workers in the melting shops of the aktubinsk ferralloys plant. // NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of geology and technical sciences. 2022. Vol. 2. №452. P. 242-258 (in English)
5. Bobrov I.A. Neobkhdimoe izmenenie obespecheniya bezopasnosti truda – perekhod k upravleniyu riskom. // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2008. №1. S. 46-50 [Bobrov I.A. The necessary change in ensuring occupational safety – the transition to risk management. // Occupational safety in industry. 2008. №1. P. 46-50] (in Russian)
6. Uakhitova B.T. Analiz statisticheskikh dannykh testirovaniya. // Sbornik trudov LIII respublikanskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Molodezh', nauka i tekhnika: puti sovershenstvovaniya i integratsii. Temirtau: 2023. S. 198-202 [Uakhitova B.T. Analysis of statistical testing data. // Proceedings of the LIII Republican scientific and practical conference «Youth, science and technology: ways of improvement and integration». Temirtau: 2023. P. 198-202] (in Russian)
7. Ramatullayeva L.I. Analysis of industrial injuries on the example of a metallurgical enterprise. // Mining Magazine of Kazakhstan. 2024. №4 (228). P. 43-50 (in Kazakh)
8. Klovach E.V. Sistema promyshlennoi bezopasnosti. / E.V. Klovach, V.I. Sidorov. // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2009. №8. S. 2-7 [Klovach E.V. Industrial safety system. / Klovach E.V., Sidorov V.I. // Ibid. 2009. №8. P. 2-7] (in Russian)
9. Mouras F. Survey of the risk management methods, techniques and software used most frequently in occupational health and safety. / Mouras F., Badri A. // International Journal of Safety and Security Engineering. 2019. №10. P. 149-160 (in English)
10. G. Seitova . Research and assessment of the state of occupational injuries at the don mining and processing plant. // NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of geology and technical sciences. 2023. Vol. 6. №462. P. 185-195 (in English)

Информация об авторах:

Уахитова Б.Т., доктор PhD, ст. преподаватель кафедры «Металлургия и горное дело» НАО Актыбинского Регионального университета им. К. Жубанова (г. Актобе, Казахстан), Uakhitova_bt@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1156-8809>

Тайжигитова М.М., магистр наук, ст. преподаватель кафедры «Металлургия и горное дело» НАО Актыбинского регионального университета им. К. Жубанова (г. Актобе, Казахстан), kipma2020@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-2635-3431>

Нурбосынова Г.С., магистр педагогических наук, преподаватель-лектор ОП по техническим и естественным наукам, Жетысуский университет имени И. Жансугурова (г. Талдыкорган, Казахстан), gulmira.nurbosynova@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-4995-0623>

Саитгалиев Р.Р., ст. преподаватель кафедры «Физическое воспитание» НАО Актыбинского Регионального университета им. К. Жубанова (г. Актобе, Казахстан), rafail.saitgaliyev@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-7085-9582>

Авторлар туралы мәліметтер:

Уахитова Б.Т., «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасының аға оқытушысы, Phd докторы КеАҚ Қ. Жубанов атындағы Ақтөбе Өңірлік университеті (Ақтөбе қ., Қазақстан)

Тайжигитова М.М., «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасының аға оқытушысы, ғылым магистрі КеАҚ Қ. Жубанов атындағы Ақтөбе Өңірлік университеті (Ақтөбе қ., Қазақстан)

Нурбосынова Г.С., техникалық және жаратылыстану ғылымдары бойынша білім беру бағдарламаларының оқытушысы-дәріскері, магистр І. Жансүгіров атындағы Жетісу университеті (Талдықорған қ., Қазақстан)

Саитгалиев Р.Р., «Дене тәрбиесі» кафедрасының аға оқытушысы, КеАҚ Қ. Жубанов атындағы Ақтөбе Өңірлік университеті (Ақтөбе қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Uakhitova B., PhD, Senior lecturer at the Department of Metallurgy, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov (Aktobe, Kazakhstan)

Taizhigitova M., Master of Science, Department of Metallurgy and Mining, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov (Aktobe, Kazakhstan)

Nurbosynova G., master of Pedagogical Sciences, The teacher is a lecturer of educational programs in technical and natural sciences Zhetysu University named after I. Zhansugurov (Taldykorgan, Kazakhstan)

Saitgaliyev R., lecturer at the Department of Physical education, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov (Aktobe, Kazakhstan)



TECH MINING RUSSIA

www.techmining.ru

6-Я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

СТРОИТЕЛЬСТВО, МОДЕРНИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

12

сентября
2024

Москва
Novotel Moscow City



16+





miningmetals

CENTRAL ASIA

29-я Центрально-Азиатская
Международная Выставка
ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ДОБЫЧА И
ОБОГАЩЕНИЕ РУД И МИНЕРАЛОВ


17 - 19 сентября 2024
Алматы, Казахстан




Организаторы

Iteca - тел.: +7 727 258 34 34



 [mining-metals.kz](https://twitter.com/mining-metals.kz)

 [mining_shows_kaz](https://www.instagram.com/mining_shows_kaz)

 [miningmetals.kz](https://www.facebook.com/miningmetals.kz)

Код МРНТИ 52.01.93

А. М. Курманов, А.Б. Бекмагамбетов, *Л.И. Едильбаева, А.Е. Сабидуллина
РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства
труда и социальной защиты населения Республики Казахстан» (г. Астана, Казахстан)

АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА ПО ОЦЕНКЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА НА ОБЪЕКТАХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Аннотация. В статье рассмотрен международный опыт по управлению профессиональными рисками в горнодобывающей отрасли, а также методология оценки рисков на рабочих местах, разработанная Международным Советом по горнодобывающей и металлургической отрасли (International Council on Mining and Metals – ICMM)¹. Подход, предложенный ICMM, является простым и последовательным алгоритмом пошаговых действий для выявления пробелов в существующих мерах контроля риска. Компании-члены ICMM внедряют в свою деятельность принципы и руководства ассоциации, что позволяет им быстрыми темпами создавать безопасные условия труда на предприятиях отрасли.

Ключевые слова: «зеленое» рабочее место, оценка профессиональных рисков, устойчивое развитие, иерархия мер контроля, риск ориентированный подход.

Тау-кен өндіру саласындағы объектілердегі кәсіби тәуекелді бағалау жөніндегі халықаралық тәжірибені талдау

Аннотация. Мақалада тау-кен өндіру саласындағы кәсіби тәуекелдерді басқару жөніндегі халықаралық тәжірибе, сондай-ақ Тау-кен өндіру және металлургия саласы жөніндегі халықаралық кеңес (International Council on Mining and Metals – ICMM) әзірлеген жұмыс орындарындағы тәуекелдерді бағалау әдіснамасы қаралды. ICMM ұсынған тәсіл тәуекелді бақылаудың қолданыстағы шараларындағы олқылықтарды анықтау үшін қадамдық әрекеттердің қарапайым және дәйекті алгоритмі болып табылады. ICMM-ге мүше компаниялар өз қызметіне қауымдастықтың қағидаттары мен басшылығын енгізеді, бұл оларға сала кәсіпорындарында қауіпсіз еңбек жағдайларын тез қарқынмен жасауға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: «жасыл» жұмыс орны, кәсіби тәуекелдерді бағалау, тұрақты даму, бақылау шараларының иерархиясы, тәуекелге бағдарланған тәсіл.

Analysis of international experience in occupational risk assessment at mining enterprises

Abstract. The article considers international experience in managing professional risks in the mining industry, as well as the methodology for assessing risks in the workplace, developed by the International Council on Mining and Metals (ICMM). The approach proposed by ICMM is a simple and consistent step-by-step algorithm to identify gaps in existing risk controls. ICMM member companies implement the principles and guidelines of the association, which allows them to quickly establish safe working conditions at the enterprises of the industry.

Key words: green job, occupational risk assessment, sustainability, hierarchy of controls, risk-based approach.

Введение

Международная организация труда (МОТ) определяет «зеленое» рабочее место прежде всего, как право работника на безопасную и здоровую производственную среду. Одной из глобальных целей, провозглашенной МОТ, является существенное сокращение к 2030 году количества случаев смерти и заболеваний в результате воздействия опасных химических веществ в воздухе рабочей зоны, воде и почве. Концепция безопасного труда до 2030 года, одобренная Правительством РК в 2023 году, направлена на системное и постоянное улучшение условий труда и внедрение риск ориентированного подхода в основные процессы национальной системы охраны труда [1].

Международный Совет по горнодобывающей и металлургической отрасли (International Council on Mining and Metals – ICMM) помогает предприятиям отрасли выполнять добровольные обязательства и вести свою деятельность на принципах этичного бизнеса, социальной эффективности, безопасности и охраны труда. ICMM объединяет крупнейшие горнодобывающие компании, как BHP, Glencore, Rio Tinto, AngloAmerican и многие другие, а также около 40 национальных ассоциаций США, Колумбии, Австралии, Чили, Канады, Мексики, Перу, Китая, Японии и многие другие. Группа Kaz Minerals с 2017 года использует и отчитывается по результатам в сфере охраны труда по определениям профессиональных заболеваний и травм, опубликованных ICMM в 2014 году². В 2023 году Республиканская Ассоциация горнодобывающих и гор-

но-металлургических предприятий» (АГМП) стала членом ICMM³. «Я очень рад приветствовать Svemin и АГМП в качестве наших новых членов ассоциации. Обе организации разделяют видение ICMM о безопасном, справедливом и устойчивом мире, основанном на ответственном производстве металлов и минералов, и я действительно с нетерпением жду их вклада и возможности учиться у них. И Швеция, и Казахстан являются важными горнодобывающими юрисдикциями, и знания, и опыт, которые они смогут предоставить, будут неоценимы для всей отрасли», – подчеркнул генеральный директор ICMM Рохитеш Дхаван. Принципы ICMM обязывают компании – членов ассоциации постоянно стремиться к улучшению охраны труда и промышленной безопасности для сохранения жизни и здоровья своих работников. Для этого учеными и профессионалами-практиками отрасли создаются различные методические рекомендации [2], одним из которых является руководство по оценке профессиональных рисков.

Материалы и методы исследования

Задачами настоящего исследования является изучение основных производственных факторов, присутствующих на рабочих местах предприятий горнодобывающей отрасли, а также признанные экспертами отрасли методы оценки влияния воздействия вредных и опасных факторов на здоровье шахтеров и других работников отрасли. При изучении международных практик управления рисками на рабочих местах в горнодобывающей отрасли исполь-

¹Международный Совет по горнодобывающей и металлургической отрасли: офиц. сайт URL: <https://www.icmm.com/> (дата обращения: 20.07.2024)

²KAZ Minerals PLC. Годовой отчет и финансовая отчетность за 2017 год. URL: <https://www.kazminerals.com/media/7191/kaz-minerals-plc-annual-report-and-accounts-2017-russian.pdf> (дата обращения: 20.07.2024)

³АГМП. Офиц. сайт. URL: <https://agmp.kz/?s=ICMM> (дата обращения: 20.07.2024)

зовались стандарты и практики Международного совета по горному делу и металлам (ICMM), практические примеры государственного контроля рисков для здоровья в горнодобывающей отрасли Кореи, Турции и другие.

Результаты и обсуждение

Извлечение твердых полезных ископаемых проводится в открытых и подземных карьерах или комбинированным методом. Жизненный цикл процесса добычи полезных ископаемых включает в себя геологоразведку, разработку горных работ, строительство горнодобывающих комплексов, а затем их эксплуатацию с активным извлечением полезных ископаемых путем бурения и транспортировки для переработки. Несмотря на обильные запасы природных ископаемых, их добыча является временной деятельностью. С течением времени ресурсы истощаются, и предприятия закрывают шахты и карьеры, занимаясь их восстановлением и реабилитацией в соответствии с заранее разработанными планами до начала строительства объектов³.

Риск для здоровья, который может возникнуть на рабочих местах в горнодобывающей промышленности, достаточно велик. Основными вредными факторами производства на объектах отрасли, определяемых в результате гигиенической оценки, являются повышенный уровень в воздухе рабочей зоны промышленных аэрозолей, газов и пыли, повышенный уровень шума и локальной вибрации, тяжелый физический труд, токсичные химические вещества, ионизирующая радиация, психоэмоциональные нагрузки, климатические факторы [3].

В условиях подземной добычи – отсутствие солнечного освещения, ограниченность пространства при выполнении рабочих операций (вынужденные позы). Относительная изоляция шахтеров также является потенциальной опасностью распространения социально значимых заболеваний, как туберкулез, гепатит и другие [4].

Кремнеземная пыль образуется при горных работах. При длительном и постоянном воздействии на дыхательные органы работников основных профессий открытых карьеров и подземных шахт кремнеземная пыль является причиной силикоза. Взвешенная угольная пыль вызывает антракоз легких, хронический бронхит и эмфизему легких.

Вибрационная болезнь в результате воздействия локальной вибрации от ручных перфораторов, используемых при бурении горных пород, распространенное заболевание у шахтеров во многих странах. Ученые Международного агентства по исследованиям в области рака (IARC) заявляют: «Твердые примеси дизельного топлива являются потенциальным канцерогеном. Шахтеры под землей подвергаются воздействию выхлопов дизельных двигателей в гораздо больших концентрациях, что оказывают сильное раздражающее действие на дыхательные пути» [5].

Природный газ метан, который сопровождает угольные пласты, является причиной взрывов в угольных шахтах, причем за взрывом метана часто следует более мощный взрыв угольной пыли, поднятой в воздух первым взрывом. Радон и продукты его распада являются источниками ионизирующих излучений, смертность от рака легких у шахтеров на урановых рудниках повышена [6].

Источниками производственного шума в шахтах являются горные машины, оборудование шахтной вентиляции, механизмы для транспортировки руды. Шум в шахтах гораздо сильнее, чем был бы от тех же источников на поверхности. Вредные привычки (например, курение) работников являются усугубляющим фактором и увеличивают вероятность риска повреждения профессионального здоровья в несколько раз.

Международная Организация Труда напрямую связывает здоровье работников с условиями труда. Оценка влияния воздействия производственных факторов на здоровье работников признана базовым процессом управления производством и также напрямую влияет на экономическую составляющую бизнеса. Правительства многих стран приняли законодательно ответственность работодателей по организации и проведению оценки профессиональных рисков. Приведем несколько примеров.

В Южной Корее оценка риска на рабочих местах является ответственностью работодателя, что регулируется законом о безопасности и гигиене труда. Корейское агентство по безопасности и гигиене труда проводит инспекции предприятий для проверки их деятельности по оценке профессиональных рисков. Если предприятия получают положительную оценку инспекторов агентства, то им предоставляются 20% скидка на страховые премии, госсубсидии или займы на предупреждающие мероприятия от несчастных случаев сроком на три года. Владельцы бизнеса должны устанавливать знаки, предупреждающие о вредных или опасных факторах и местах на рабочем месте, действиях, которые следует предпринять в чрезвычайной ситуации, а также о мерах безопасности. Если нанимаются иностранные работники, владельцы бизнеса должны включать вывески на иностранных языках. Список производственных факторов состоит из 7 больших групп опасных веществ, 19 видов опасных работ для контроля, 18 видов работ для контроля перед началом работ [7].

Офис Международной Организации Труда в Анкаре сообщает: «Горнодобывающая промышленность и строительство являются наиболее опасными секторами для турецких рабочих. Вместо процедуры аттестации рабочих мест по условиям труда, в организациях Турции проводится оценка профессионального риска. Причем, если производство очень опасное, то оценка проводится не реже одного раза в 2 года, для опасных производств – не реже 1 раза в 4 года, для рабочих мест с невыраженной опасностью – не реже одного раза в 6 лет. При увеличении случаев травматизма или профессиональных заболеваний, а также при изменении технологического процесса, проводится внеплановая оценка». Принята американская классификация производственных факторов – 29 физических, 25 химических, 24 биологических, 10 эргономических и 6 психосоциальных опасностей и рисков.

Во время взрыва трансформаторного оборудования и пожара вследствие короткого замыкания на горнодобывающей шахте в городе Соме в провинции Маниса Турции в 2014 году под землей находились 787 человек, 302 из которых погибли. После аварии было принято новое законодательство по безопасности труда

на шахтах. Например, шахтные корпорации обязаны предоставлять подземные карты в 3D ракурсе, шахты должны будут иметь два независимых выхода. Каждый шаг добычи полезных ископаемых в электронном виде в режиме реального времени передается в Министерство энергетики для контроля безопасности технологического процесса. Инспектора при посещении шахты смогут снимать на видео и делать фотографии всех нарушений охраны труда [8].

В 2009 году ИСММ разработала «Руководство по надлежащей практике оценки рисков для здоровья на рабочем месте», как практический инструмент для оценки профессиональных рисков на рабочих местах горнодобывающей и металлургической отраслей и управления ими с помощью критических мер контроля.

Оценка профессионального риска включает тринадцать последовательных шагов:

1. *Выявление опасностей и их источников на рабочем месте;*
2. *Выявление потенциально подверженных воздействию людей и аналогичные группы воздействия;*
3. *Определение процессов, задач и областей, в которых могут возникнуть опасные воздействия;*
4. *Инструментальное измерение и количественная оценка опасного воздействия;*
5. *Оценка потенциальных рисков для здоровья от опасного воздействия (например, продолжительность воздействия, частота воздействия, уровень воздействия по сравнению с ПДК/ПДУ);*
6. *Ранжирование рисков (высокий, средний, низкий);*
7. *Определение существующих средств контроля и оценка их эффективности;*
8. *Создание реестра рисков и контролей;*
9. *Принятие решения о приемлемости рисков и определение приоритетов для действий по их минимизации;*
10. *Реализация корректирующих действий – разработка, внедрение и мониторинг плана действий по контролю рисков или анализ существующего плана действий по контролю рисков;*
11. *Своевременное восстановление средств контроля в случае их отказа (особенно критических средств контроля);*
12. *Ведение точных и систематических записей или внесение изменений в существующий план действий по контролю рисков и использование альтернативных и/или дополнительных мер контроля;*
13. *Внесение поправок через регулярные промежутки времени или раньше, если предлагаются изменения в процессах или новые разработки.*

Существует три типа оценки профессиональных рисков, каждый из которых проводится на разных уровнях и в разное время:

1. *Базовая, или исходная;*
2. *Целевая (например, после несчастного случая);*
3. *Непрерывная (это программа постоянного мониторинга мер контроля и воздействия, а также график регулярных проверок, чтобы определить, остались ли условия прежними или произошли изменения в процессах, компонентах работы или группах воздействия).*

В руководстве ИСММ приведена матрица для оценки рисков, адаптированная для ее членов – горнодобывающих и металлургических компаний. Полуколичественная матрица 5x5 представляет собой показатели тяжести по горизонтали и показатели вероятности по вертикали. Показатели тяжести: 1 – незначительная (воздействие вредных факторов приводит к временному дискомфорту); 2 – низкая (воздействие вредных факторов приводит к симптомам, требующим медицинской помощи и полное выздоровление без потери дней трудоспособности); 3 – средняя (воздействие вредных факторов с концентрацией выше ПДК, ПДУ приводит к потере дней трудоспособности, но без инвалидности); 4 – высокая (воздействие вредных факторов с концентрацией значительно выше ПДК, ПДУ приводит к потере качества жизни или единичной смерти); 5 – чрезвычайно высокая (воздействие вредных факторов с концентрацией значительно выше ПДК, ПДУ приводит к потере качества жизни группы людей, населения или нескольким случаям со смертельным исходом). Показатели вероятности: 1 – очень редко (1 случай в более, чем 30 лет); 2 – с низкой вероятностью (1 случай в 30 лет); 3 – маловероятный (1 случай в 10 лет); 4 – с высокой вероятностью (1 случай в 3 года); 5 – вероятный (1 случай в год).

В методике большое значение придается мерам контроля риска, которые делятся на предупреждающие (до реализации рискового случая) и реактивные (после реализации рискового случая для снижения последствий). Выделяется три зоны контроля – 1 у источника опасности; 2 – по всему пути распространения опасности; 3 – работник (опасные действия, системные недостатки в процедурах, компетентность работника). ИСММ обращает внимание, что независимо от того, насколько хороши средства контроля, применяемые для решения конкретной проблемы, они могут быть эффективными только в том случае, если они используются, и используются правильно.

Выводы

Обеспечить «зеленое» рабочее место сегодня нельзя без управления рисками на рабочих местах. Риск-ориентированный подход для обеспечения достойных условий труда стал признанной международным сообществом профессионалов практикой и прямой обязанностью работодателей. Стандартизированные методики, применяемые международными отраслевыми ассоциациями, позволяют быстро внедрять и добиваться хороших результатов. И что важно, такой подход позволяет сравнивать результаты, полученные по одной методике, корректно.

В статье представлены результаты научных исследований, полученные в ходе реализации научно-технической программы на тему «Условия труда и профессиональные риски: классификация, категории и критерии группировки в рамках перехода к «зеленой экономике»» (ИРН: BR22182667) в рамках программно-целевого финансирования исследований Республиканского научно-исследовательского института по охране труда МТСЗН РК.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 декабря 2023 года №1182 «Об утверждении концепции безопасного труда Республики Казахстан на 2024-2030 года» (на русском языке)
2. Яцына И.В. Оценка прогнозирования и управления рисками для здоровья работающих (обзор литературы). / И.В. Яцына, А.В. Сухова, Е.А. Преображенская, А.М. Егорова. // Гигиена и санитария. 2022. №101 (10). С. 1249-1254 (на русском языке)
3. Березовская А.В. Факторы опасности здоровью шахтеров и меры противодействия этим рискам / А.В. Березовская, А.И. Фомин. // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. №5 (131). С. 1-8 (на русском языке)
4. Методические рекомендации «Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса»: Приказ Председателя Комитета санитарно-эпидемиологического контроля Министерства здравоохранения РК от 31 декабря 2020 года №24 (на русском языке)
5. Едильбаева Л.И. Вопросы сохранения профессионального здоровья на рабочих местах предприятий Республики Казахстан. // Горный журнал Казахстана. 2023. №8 (220). С. 71-75 (на русском языке)
6. Петрова К.И. Оценка пылевой опасности на горных предприятиях. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. №5. С. 413-417 (на русском языке)
7. Kim J.M. Разработка количественной оценки риска с использованием индикаторов риска для прогнозирования экономического ущерба на строительных площадках Южной Кореи. / Kim J.M., Kim T., Son K., Bae J., So S. // Журнал азиатской архитектуры и строительной техники. 2019. №18(5). С. 472-478 (на английском языке)
8. Ulutasdemir N. Профессиональные риски медицинских работников в Турции как стране с развивающейся экономикой. / Ulutasdemir N., Cirpan M., Sorur E.O., Tanir F. // Журнал Анналы глобального здоровья. 2015. №81 (4). С. 522-529 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. «Қазақстан Республикасының 2024-2030 жылдарға арналған қауіпсіз еңбек тұлғарындамасын бекіту туралы» Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2023 жылғы 28 желтоқсандағы № 1182 қаулысы (орыс тілінде)
2. Яцына И.В. Жұмысшылардың денсаулығына қауіп-қатерді болжау мен басқаруды бағалау (әдебиеттік шолу). / И.В. Яцына, А.В. Сухова, Е.А. Преображенская, А.М. Егорова. // Гигиена және санитария. 2022. №101 (10). Б. 1249-1254 (орыс тілінде)
3. Березовская А.В. Кеншілердің денсаулығына қауіп төндіретін факторлар және осы тәуекелдерге қарсы тұру шаралары / А.В. Березовская, А.И. Фомин. // Халықаралық ғылыми зерттеу журналы. 2023. №5 (131). Б. 1-8 (орыс тілінде)
4. «Өндірістік орта факторларының зияндылығы мен қауіптілігі, еңбек процесінің ауырлығы мен қарқындылығы көрсеткіштері бойынша еңбек жағдайларын гигиеналық бағалау критерийлері және классификациясы» әдістемелік ұсынымдар: ҚР Санитариялық-эпидемиологиялық бақылау комитеті төрағасының бұйрығы. Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігінің 2020 жылғы 31 желтоқсандағы №24 (орыс тілінде)
5. Едильбаева Л.И. Қазақстан Республикасы кәсіпорындарының жұмыс орнында кәсіби денсаулықты сақтау мәселелері. // Қазақстан тау-кен журналы. 2023. №8 (220). Б. 71-75 (орыс тілінде)
6. Петрова К.И. Тау-кен кәсіпорындарындағы шаң-тозаң қауіпін бағалау. // Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетень. 2017. №5. Б. 413-417 (орыс тілінде)
7. Kim J.M. Оңтүстік Кореядағы құрылыс нысандарындағы экономикалық залалды болжау үшін тәуекел индикаторларын пайдалана отырып, сандық тәуекелді бағалауды әзірлеу. / Kim J.M., Kim T., Son K., Bae J., Son S. // Asian Architecture and Construction Engineering журналы. 2019. №18 (5). Б. 472-478 (ағылшын тілінде)
8. Ulutasdemir N. Дамушы экономика ретінде Түркиядағы медицина қызметкерлерінің кәсіптік тәуекелдері. / Ulutasdemir N., Cirpan M., Sorur E.O., Tanir F. // Жаһандық денсаулық журналының жылнамалары. 2015. №81 (4). Б. 522-529 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 28 dekabrya 2023 goda №1182 «Ob utverzhdenii kontseptsii bezopasnogo truda Respubliki Kazakhstan na 2024 -2030 goda» [Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated December 28, 2023. No. 1182. «On approval of the concept of safe work of the Republic of Kazakhstan for 2024-2030»] (in Russian)
2. Jacyna I.V. Ocenka prognozirovaniya i upravleniya riskami dlja zdorov'ja rabotajushhih (obzor literatury). / I.V. Jacyna, A.V. Suhova, E.A. Preobrazhenskaja, A.M. Egorova. // Gigiena i sanitarija. 2022. №101 (10). S. 1249-1254. [Jacyna I.V. Scientific and methodological aspects of assessment, forecasting and risk management for the health of workers (literature review). / I.V. Jacyna, A.V. Suhova,

- E.A. Preobrazhenskaja, A.M. Egorova. // Journal of Hygiene and Sanitation. 2022. №101 (10). P. 1249-1254 (in Russian)*
3. *Berezovskaja A.V. Faktory opasnosti zdorov'ju shahterov i mery protivodejstvija jetim riskam. / A.V. Berezovskaja, A.I. Fomin. // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2023. №5 (131). S. 1-8 [Berezovskaja A.V. Hazards to the health of miners and measures to counter these risks. / A.V. Berezovskaja, A.I. Fomin. // International scientific research journal. 2023. №5 (131). P. 1-8] (in Russian)*
 4. *Metodicheskie rekomendatsii «Gigienicheskie kriterii otsenki i klassifikatsiya uslovii truda po pokazatelyam vrednosti i opasnosti faktorov proizvodstvennoi sredy, tyazhesti i napryazhennosti trudovogo protsessa»: Prikaz Predsedatelya Komiteta sanitarno-epidemiologicheskogo kontrolya Ministerstva zdravookhraneniya RK ot 31 dekabrya 2020 goda №24. [Methodological recommendations «Hygienic assessment criteria and classification of working conditions according to indicators of harmfulness and danger of factors in the working environment, severity and intensity of the labor process»: Order of the Chairman of the Committee for Sanitary and Epidemiological Control of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan dated December 31, 2020. №24] (in Russian)*
 5. *Edil'baeva L.I. Voprosy sohraneniya professional'nogo zdorov'ja na rabochih mestah predpriyatij Respubliki Kazahstan. // Gornyj zhurnal Kazahstana. 2023. №8 (220). S. 71-75 [Yedilbayeva L.I. Issues of occupational health preservation at workplaces of enterprises of the Republic of Kazakhstan. // Mining Journal of Kazakhstan. 2023. №8 (220). P. 71-75] (in Russian)*
 6. *Petrova K.I. Ocenka pylevoj opasnosti na gornyh predpriyatijah. Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. 2017. №5. S. 413-417 [Petrova K.I. Assessment of dust hazards at mining enterprises. // Mining Information and Analytical Bulletin. 2017. №5. P. 413-417] (in Russian)*
 7. *Kim J.M. A quantitative risk assessment development using risk indicators for predicting economic damages in construction sites of South Korea. / Kim J.M., Kim T., Son K., Bae J., Son S. // Journal of Asian Architecture and Building Engineering. 2019. №18(5). P. 472-478 (in English)*
 8. *Ulutasdemir N., Cirpan M., Copur E.O., Tanir F. Occupational Risks of Health Professionals in Turkey as an Emerging Economy. // Annals of Global Health. 2015. №81 (4). P. 522-529 (in English)*

Сведения об авторах:

Курманов А.М., кандидат экономических наук, генеральный директор РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан» (г. Астана, Казахстан), rniiot@rniiot.kz; <https://orcid.org/0009-0004-4068-9022>

Бекмагамбетов А.Б., кандидат юридических наук, ассоциированный профессор, заместитель генерального директора по научной работе РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан» (г. Астана, Казахстан), adilet1979@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2033-3625>

Едильбаева Л.И., кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник филиала «Южный» РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан» (г. Алматы, Казахстан), laura.ibragimovna@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-4442-057X>

Сабидуллина А.Е., докторант, старший научный сотрудник филиала «Южный» РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан» (г. Алматы, Казахстан), sabidullina96@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1489-0270>

Авторлар туралы мәліметтер:

Курманов А.М., экономика ғылымдарының кандидаты, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» бас директоры (Астана қ., Қазақстан)

Бекмагамбетов А.Б., заң ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» бас директордың ғылыми жұмыс жөніндегі орынбасары (Астана қ., Қазақстан)

Едильбаева Л.И., медицина ғылымдарының кандидаты, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ-дағы РМК «Оңтүстік» филиалының жетекші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Сабидуллина А.Е., докторант, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ-дағы РМК «Оңтүстік» филиалының аға ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

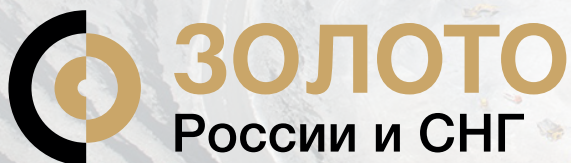
Kurmanov A.M., Candidate of Economic Sciences, CEO (Astana, Kazakhstan)

Bekmagambetov A.B., Candidate of Legal Sciences, Associate Professor, Deputy Director General for Research (Astana, Kazakhstan)

Yedilbayeva L.I., Candidate of Medicine, Leading Researcher, Branch «South» of RSE on the REM «Republican Research Institute for Occupational Safety and Health of the Ministry of Labor and Social Protection of the Republic of Kazakhstan» (Almaty, Kazakhstan)

Sabidullina A.E., Doctoral Student, Senior Researcher, Branch «South» of RSE on the REM «Republican Research Institute for Occupational Safety and Health of the Ministry of Labor and Social Protection of the Republic of Kazakhstan» (Almaty, Kazakhstan)

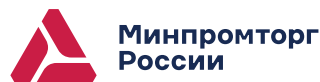
3-й международный конгресс и выставка



24–25 сентября 2024, Москва

VOSTOCK CAPITAL
— 21 год динамичного успеха —

При поддержке:



Ключевые моменты в программе конгресса 2024:

200+ РУКОВОДИТЕЛЕЙ КЛЮЧЕВЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ КОМПАНИЙ России и стран СНГ, инициаторы инвестиционных проектов, компании-разработчики и производители оборудования и технологий для предприятий соберутся вместе на одной площадке для обсуждения наиболее острых вопросов в индустрии!

40+ КРУПНЕЙШИХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ: строительство ГОКов, модернизация, расширение мощностей и освоение новых месторождений

40+ ДОКЛАДЧИКОВ и участников дискуссий: представители проектов, регуляторные органы, ведущие эксперты отрасли

30+ ЧАСОВ ДЕЛОВОГО И НЕФОРМАЛЬНОГО ОБЩЕНИЯ: встречи один-на-один по заранее согласованному графику, деловые обеды, кофе-брейки, интерактивные дискуссии, коктейльный прием и многое другое

ФОКУС-СЕССИЯ: НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЗОЛОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ: эффективные стратегии сотрудничества бизнеса и государства

ИННОВАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ И ОБОРУДОВАНИИ для добычи и переработки золота - презентация нового оборудования и передовых решений для горной добычи

ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯМИ: модернизация для устойчивого будущего

ДИСКУССИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИРЕКТОРОВ: эффективное использование техногенных россыпей и отвалов

ФИНАНСОВЫЕ АСПЕКТЫ и управление ресурсами в индустрии золотодобычи

АКТУАЛЬНО! CASE-STUDY: Судьба известных и перспективы будущих проектов в золотодобывающем секторе

Предотвращение рисков: продвинутые **МЕТОДЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ ИНФРАСТРУКТУРЫ при обустройстве месторождений

ЭКСКЛЮЗИВНАЯ ВЫСТАВКА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕЗЕНТАЦИИ.

Технологические презентации, роуд-шоу, специализированная выставка технологий, оборудования и услуг от мировых лидеров

[GOLDMININGRUS.COM](https://goldminingrus.com)

+7 (495) 109 9 509 (Москва)
events@vostockcapital.com



Среди постоянных участников мероприятия:





САХАПРОМЭКСПО

**НЕДРА ЯКУТИИ. СПЕЦТЕХНИКА.
ЭКОЛОГИЯ. ЭНЕРГО.
СВЯЗЬ. БЕЗОПАСНОСТЬ**

**30 – 31 октября 2024 г.
ЯКУТСК**

Организаторы:



**Выставочная компания
Сибэкспосервис**
г. Новосибирск



**Выставочная компания
СахаЭкспоСервис**
г. Якутск

Тел: (383) 3356350

[E-mail: vk ses@yandex.ru](mailto:vk ses@yandex.ru)

www.ses.net.ru

Горная общественность Республики Казахстан понесла тяжелую утрату – 15 июля 2024 года ушел из жизни доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Национальной инженерной академии РК, академик МАИН, иностранный член академии горных наук РФ, лауреат премии Совета министров Казахской ССР в области науки и техники Бегалинов Абдрахман Бегалинович.

А.Б. Бегалинов в 1969 году окончил Казахский политехнический институт по специальности «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых». После окончания института работал в г. Аркалыке горным мастером на дробильно-сортировочной фабрике (1969-1972 гг.), начальником участка Токтыгатского рудника (1972-1973 гг.), главным инженером Нижне-Ашутского рудника (1973-1978 гг.), начальником Нижне-Ашутского рудника (1978-1983 гг.), главным инженером Тургайского бокситового рудоуправления (1983-1986 гг.).

В 1986-1991 гг. А.Б. Бегалинов работал директором Карагайлинского горно-обогатительного комбината. В 1991-1993 гг. он – заведующий отделом промышленности и товаров народного потребления Apparata Президента и Кабинета Министров Республики Казахстан. В 1993-1995 гг. – президент национальной компании «Алтыналмас». В 1996-1997 гг. – вице-президент ОАО «Казметалл». В 1997-2003 гг. – генеральный директор ЗАО ИПК «Orient Gold». С 2003 по 2006 гг. – генеральный директор горнодобывающего предприятия ТОО «Сымбат – XXI».

Одновременно в 1998-2006 годы преподавал в Казахском Национальном техническом университете, являясь профессором кафедры «Открытые горные работы» по совместительству. В июне 2006 года на конкурсной основе избран заведующим кафедрой «Разрушение горных пород и шахтное строительство» КазНТУ, а в 2009 году переизбран на эту же должность.

Работая первым руководителем золотодобывающей промышленности независимого Казахстана, А. Бегалинов внес большой вклад в формирование отрасли и создания золотого запаса Республики. Впервые в золотодобывающей отрасли РК были сбалансированы объемы добычи и глубокой переработки золотосодержащего сырья с выпуском металлического золота, соответствующего международным стандартам Лондонской биржи металлов. Под его руководством была разработана Республиканская программа «Золото Казахстана». Объем производства золота чисто золотодобывающими предприятиями РК возрос в 1,6 раза.

Работая на руководящих должностях, А. Бегалинов принимал непосредственное участие в разработке и внедрении новых технологических процессов и передовых методов работ на добычных и обогатительных комплексах РК.

А. Бегалинов участвовал на международных научных конференциях по горному делу, проводимых в ЮАР, Австралии, Греции, Чехии, Индии, Турции и др. Он вел активную научную и преподавательскую работу. Он автор



**Абдрахман Бегалинович
Бегалинов**
(10.10.1946-15.07.2024)

более 140 научных и учебно-методических трудов, в том числе 16 из них справочники, терминологические словари, монографии, учебники и учебные пособия, а также 15 изобретений.

А. Бегалинов принимал активное участие в становлении технического казахского языка. Читал курс лекций в КазНТУ и писал научные труды, в том числе и на казахском языке, кроме того, он один из авторов научного терминологического словаря «Экология және табиғат қорғау» (2002 г.) и «Горное дело и металлургия» (2014 г.).

Профессором А. Бегалиновым подготовлены кандидаты технических наук, доктора PhD и магистры технических наук.

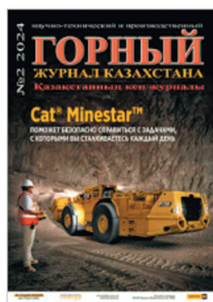
А. Бегалинов являлся членом редакционных коллегий журналов «Горный журнал Казахстана» и «Горно-геологический журнал».

За значительный вклад в развитие горной отрасли он был награжден орденами «Знак почета» и «Трудового Красного знамени», медалью «Ерен еңбегі үшін», отраслевой медалью «Кенші даңқы» I степени. Лауреат премии Совета Министров Казахской ССР в области науки и техники (1989 г.) за создание методов расчета и освоение прогрессивной технологии по управлению устойчивостью карьерных откосов на рудных карьерах Казахстана, а также премии им. К.И. Сатпаева (КазНТУ, 2014 г.).

Колоссальная работоспособность и преданность горной отрасли снискали к Бегалинову А. уважение профессионалов и он всегда был лидером во многих новых проектах в области горного дела и металлургии.

Редакционная коллегия «Горного журнала Казахстана», КазНТУ им. К.И. Сатпаева, Институт горного дела им. Д.А. Кунаева.

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА



ПОДПИСКА' 2024

РЕКЛАМНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

СОТРУДНИЧЕСТВО

POST-DTS@YANDEX.KZ / +7 747 343 15 02 / MINMAG.KZ



2-Й МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Цветные металлы России и СНГ

добыча, строительство
и модернизация предприятий

Узнать больше:



VOSTOCK CAPITAL
— 22 года динамичного успеха —

Генеральный спонсор:



Золотой спонсор:



Бронзовый спонсор:



Партнер в сфере инженерных инноваций:



Логистический партнер:



19-20 ноября 2024, Москва

2 дня делового общения

200+ участников

30+ инвестиционных проектов

30+ докладов

Ключевые моменты форума:

- **Будущее и настоящее цветной металлургии в России:** добыча, производство, государственная поддержка и планы
- **Инвестиционные проекты:** запуск добычных проектов, строительство и модернизация предприятий цветной металлургии
- **НОВОЕ!** Цифровизация и автоматизация на всех этапах
- **Актуально!** Круглый стол по эффективности: от разработки до переработки
- **Импортозамещение, новые поставщики и рынки сбыта**
- **НОВОЕ!** Круглый стол. Устойчивое развитие отрасли: экономический рост, социальная ответственность, экологический баланс
- **Современные технологии и решения для** добычи цветных металлов и для модернизации металлургической отрасли
- **30+ часов** делового и неформального общения!



УГОЛЬ РОССИИ и МАЙНИНГ

НОВЫЕ
ВРЕМЕНА



НОВЫЕ
ГЕРОИ

Интерактивная сессия

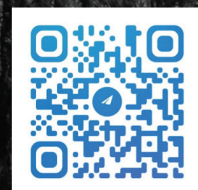
4 июня
2025

ВК «Кузбасская
ярмарка»,
Новокузнецк

в рамках выставки

«УГОЛЬ РОССИИ И МАЙНИНГ»

+7 (495) 699-01-24
communication@stimchenko.com
www.stimchenko.com



принять участие
в мероприятии

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ в редакцию периодического печатного издания «Горный журнал Казахстана»

1. «Горный журнал Казахстана» принимает к публикации оригинальные статьи научного и научно-технического содержания, отражающие результаты исследовательской и научной деятельности, имеющие рекомендации к практическому применению решаемых вопросов, а также статьи обзорного характера, отвечающие критериям первичной научной публикации (полный перечень рубрик указан на сайте *minmag.kz*).

2. Основные требования к статьям, представленным для публикации в журнале:

- набор статьи производится в текстовом редакторе Word шрифтом Times New Roman 12 кеглем с полуторным интервалом;
- общий объем статьи, включая рисунки, таблицы, метаданные не должен превышать 8 печатных страниц;
- статьи (за исключением обзоров), должны содержать новые научные результаты;
- статья должна соответствовать тематике (см. п. 1), научному уровню журнала;
- статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями, отраженными в п. 3;
- статья может быть представлена на казахском, русском или английском языке;
- в редакцию представляется окончательный, **тщательно выверенный вариант** статьи, исключающий необходимость постоянных доработок текста на этапах издательского процесса;
- перед отправкой статьи в редакцию журнала авторам необходимо проверить текст на предмет отсутствия плагиата.

3. Структура статьи должна содержать следующие разделы:

- код МРНТИ (ГРНТИ <http://grnti.ru/?p1=52>) – шестизначный;
- название статьи (сокращения не допускаются, не допускается использование аббревиатур и формул; максимальное количество слов 10-12) должно быть информативным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы, предоставляется на казахском, русском и английском языках;
 - инициалы и фамилии авторов; статья должна иметь не более 4 авторов; знаком «*» указывается автор-корреспондент;
 - сведения о каждом авторе (ученая степень, ученое звание, должность, место основной работы, город, страна, контактные данные (адрес электронной почты), ORCID ID) предоставляются на казахском, русском и английском языках;
 - полное название организации (-й), где работают авторы (с указанием ведомственной принадлежности);
 - аннотация в соответствии с требованиями международных баз данных должна достаточно полно раскрывать содержание статьи, включая характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению материалами. Аннотация предоставляется на казахском, русском и английском языках объемом не менее 700 и не более 900 символов (примерно 150...200 слов);
 - ключевые слова в количестве 6...10 устойчивых словосочетаний, по которым в дальнейшем будет выполняться поиск статьи (сокращения и аббревиатуры не допускаются): ключевые слова отражают специфику темы, объект и результаты исследования и предоставляются на казахском, русском и английском языках;
 - текст статьи, содержащий следующие разделы (введение, методы/исследования, результаты, обсуждение результатов, заключение/ выводы);
 - список использованных источников (10...12), в том числе не менее 3 зарубежных не ранее 2015 года, предоставляется на казахском, русском и английском языках.

РИСУНКИ должны иметь расширение графических редакторов CorelDraw, Photoshop, Illustrator и т. п.). Фотографии должны быть предельно четкими в графическом формате (TIFF, JPEG, CDR) с разрешением не менее 300 dpi. Все буквенные и цифровые обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисовочном текстах. Надписи и другие обозначения на графиках и рисунках должны быть четкими и легко читаемыми. **ПОДПИСИ К РИСУНКАМ и ЗАГОЛОВКИ ТАБЛИЦ ОБЯЗАТЕЛЬНЫ.** Оформляются отдельным блоком на казахском, русском и английском языках.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ следует набирать в формульном редакторе MathTypes Equation или MS Equation, греческие и русские буквы в формулах набирать прямым шрифтом (опция текст), латинские – курсивом. **Обозначения величин и простые формулы в тексте и таблицах набирать как элементы текста** (а не как объекты формульного редактора). Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в последующем изложении. Нумерация формул сквозная.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ составляется в порядке цитирования и оформляется в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008. Ссылки на литературу в тексте отмечаются по мере их появления порядковыми номерами в квадратных скобках. Список приводится на казахском, русском и английском языках с указанием в скобках оригинала публикации. Образец оформления литературы и транслитерации размещен на сайте *minmag.kz*.

4. Условия приобретения журналов авторами.

С автором(ами) заключается договор о приобретении 10 (десяти) экземпляров журнала согласно установленным расценкам на текущий год, которые он(они) имеют право распространять среди горной общественности. После оплаты статья публикуется в номере журнала согласно очередности. Если существует необходимость опубликовать статью в одном из ближайших номеров журнала, авторы оплачивают ускорение в размере 50000 (пятьдесят тысяч) тенге.