

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 30.10.2024 г.

Отпечатано:
«Print House Geronа»
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, ассоц. профессор

А.А. Бекботаева, PhD, ассоц. профессор

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

Ⓜ – информационное сообщение

 – статья публикуется в авторской редакции

- 3 Колонка главного редактора
- 4 Хранитель времени и ресурсов: сварочное оборудование в горно-шахтном сегменте
- 4 Сварочные решения на страже промышленного процесса
- 5 Аппараты и материалы для горного дела
- Геотехнология**
- 6 *А.А. Мусин, *А.Ж. Имашев, Н.Қ. Шәйке, А.М. Суимбаева*
Определение устойчивого состояния техногенных обнажений при отработке наклонных рудных залежей камерно-столбовой системой разработки
- 13 *D.R. Akhmaturov, *N.M. Zamaliyev, M.S. Usenbekov, R.A. Musin*
Development of a methodology for determining the volume of cavities of gas accumulations in waste areas and methane content
- Маркшейдерское дело**
- 21 **Г. Мейрамбек, М.Б. Нұрпейісова, Қ.Б. Рысбеков, Д.М. Қыргызбаева*
Жыланды кеніші Сарыоба карьерінің беткейлерін нығайтудың тәсілі және ергіндісі
- Геомеханика**
- 27 *Б. Хусан, *С.А. Мустафин, Г.Б. Ескенова, Ж.М. Асанова*
Методика определения влияющих факторов на устойчивость бортов карьера при ведении буровзрывных работ
- Геодезия**
- 33 *Х.М. Касымканова, Э.О. Орынбасарова, А.С. Уразалиев, *К.А. Жанакулова*
Метод определения дрейфа гравиметра CG-6 Autograv для обеспечения высокоточных измерений силы тяжести
- 39 **А.З. Капасова, М.П. Талерчик, Е.Ж. Маусымбеков*
Изучение особенностей использования спектрального метода дистанционного зондирования для обнаружения геологических признаков месторождений полезных ископаемых
- Нефтегазовое дело**
- 46 **А.А. Мельдешов, А.К. Абишева, М.М. Матаев*
Перспективы эффективного использования попутного нефтяного газа и легких углеводородов
- Охрана труда и безопасность в горной промышленности**
- 53 *А.М. Курманов, А.Б. Бекмагамбетов, *Б.Т. Уахитова, Д.К. Жумадуллаев*
Анализ травматизма на шахте «Молодежная» Донского ГОКа
- 61 90 лет Виктору Леонтьевичу Яковлеву
- 62 Ахмамбетов О.А. (1931-2024)
- 63 Нурутдинов А.В. (15.06.1933-20.10.2024)
- 64 Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

*Дорогие читатели!
Уважаемые члены редколлегии!*

Время стремительно приближает нас к Новому году и к предшествующим ему событиям, влияющим на наши интересы, планы и графики нашего жизнеобеспечения.

Октябрь и начало ноября станут для части горняков, обогатителей и металлургов страны на предприятиях, в вузах, в органах государственной власти, в бизнес-среде и в сообществе пенсионеров праздничными в связи с 90-летием со дня рождения нашей Alma – Mater – Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева.

Можно сказать, что «праздник затянулся», но можно и с радостью объявить «праздник продолжается». По мне – пусть продолжается и в своих трудовых буднях, создавая праздничное настроение успехами выпускников университета в развитии экономики страны и в достижении новых научных вершин, и в исполнении своих величественных планов, поддерживаемых государством.

Мы гордимся своим университетом, поэтому, открывая дверь любой аудитории, чувствуем себя на празднике человеческого ума и сопровождающего его творческого труда.

Праздничный номер нашего журнала был издан в сентябре, но теперь, после 11-го ноября, когда торжества будут официально завершены, будем ждать отчетов с места событий.

Меня во взаимоотношениях нашего журнала с наукой и производством удовлетворяет участие науки. Но отсутствие прямой информации «от сохи», то есть от членов трудовых коллективов предприятий, волнуют и настраивают на нездоровые мысли.

Предприятиям Казахстана есть чем гордиться, не просто объемами добытой и переработанной руды. Например, величайшими, не побоюсь этого слова, достижениями XXI века в горном деле и минералургии являются технологический прорыв АО «Kazminerals» хотя бы в таких направлениях:

1. Годовой объем добычи на карьере Бозшаколь 50 млн тонн руды в год, на карьере Актогай – 80 млн тонн руды в год с переработкой на обогатительных фабриках при содержании меди 0,33%;

2. Добыча и переработка на месторождении Актогай отдельно окисленных руд с получением меди в растворе после выщелачивания;

3. Работа подземных рудников Иртышский и Артемьевский в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях.

Было бы полезно узнать о достижениях ТОО «Корпорация «Казахмыс» на Жезказганских рудниках, на Нурказгане, Жаман-Айбате, Абызе, Акбастау, Космуруне, Шатыркуле, на строительстве Жайсанского рудника и Шатыркульской обогатительной фабрики.

Очень много интересного на горных работах на глубоких горизонтах Донского ГОКа, на рудниках Русской медной компании в Актюбинской области и на новом месторождении Коксай в Талдыкорганской области.

Каковы перспективы развития ТОО «Казцинк» с его угасающими рудниками на Малеевском и Риддер-Сокольном месторождениях? Ведь от этого зависит судьба городов Алтай и Риддер!

Как выглядит в будущем жизнь железорудных гигантов вокруг городов Рудный, Лисаковск, Качары?

Золотодобывающая отрасль в Казахстане продолжает развиваться, поэтому следовало бы и читающей публике знать о делах на месторождениях Аксу, Бестобе, Жолымбет, Акбакай, Васильковское, Бакырчик, Большевик и многих других, собственниками которых являются десятки компаний, в т.ч. с иностранным капиталом.

Бокситовая отрасль, производство глинозема, деятельность собственного алюминиевого завода являются системообразующими кормильцами Костанайской и Павлодарской областей, поэтому состояние их сырьевой базы и развитие мощностей должно быть также известно народу Казахстана.

Общеизвестны успехи мирового масштаба Усть-Каменогорского титано-магниевого комбината, поэтому создание полномасштабной добывающей базы на месторождениях Казахстана должно быть всегда общеизвестным фактом. От руководства УКТМК, конечно же, в связи со значимостью будущего хотелось бы получить на страницах журнала сведения из первых рук. Сатпаевское, Шокаш, Тобольское, Карагаш – это реальная сырьевая база, да еще с цирконовой (более дорогой) добавкой.

Много еще другой интересной информации о возможностях и проблемах нашего горно-металлургического комплекса. Редкие и редкоземельные металлы нашей страны могут занять свое достойное место в мировом сырьевом балансе. Об этом тоже надо знать.

Наука и производство, рабочие процессы и творческая модернизация должны идти «нога в ногу», тогда Казахстан будет успешно входить в XXI век как объект материальной сырьевой основы благополучия цивилизации. Капитал, заработанный на инвестициях в собственную природу, в ее геологическую среду, даст многократный экономический эффект в создании проектов производства готовых металлов и продукции из них. Казахстан тогда спокойно выйдет из «пут» сырьевого придатка, о чем любят вести досужие разговоры некоторые далекие от искренних забот о нашем благополучии так называемые политологи.

Надо понять одно: мы не можем импортировать сырье сотнями миллионов тонн. Его надо переработать у себя. У нас нет возможности создать разнообразную логистику для этой цели, потому что нет береговой океанической линии для портов.

ХРАНИТЕЛЬ ВРЕМЕНИ И РЕСУРСОВ: СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В ГОРНО-ШАХТНОМ СЕГМЕНТЕ

По данным ряда исследований, в 2024 году уровень объема промышленного производства в странах Центральной Азии остается высоким, при этом наибольшие показатели роста демонстрирует сегмент добычи полезных ископаемых. Однако увеличение объемов производства ставит перед отраслью ряд вопросов. Одни из самых острых – недостаточная обновляемость парка дорогостоящей спецтехники, выход машин из строя, сложности с эксплуатацией и своевременным ремонтом в условиях повышенной интенсивности работ. О том, как современные сварочные технологии позволяют продлить срок службы оборудования и избежать простоев в горно-шахтном сегменте, рассказал руководитель направления ремонта и восстановления компании ЭСАБ Давид Пак.

Согласно информации Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан за январь-июнь 2024 года, рост производства наблюдается в горнодобывающей промышленности и разработке карьеров – на 0,3%, обрабатывающей промышленности – на 5,1%, снабжении электроэнергией – на 6,1% по сравнению с аналогичным периодом 2023 года. Среди регионов лидируют Актюбинская, Карагандинская области и город Астана. В Узбекистане рост зафиксирован во всех ключевых секторах экономики, а промышленное производство увеличилось на 7,8% (такие данные озвучил президент Узбекистана Шавкат Мирзиёев 17 июля на видеоселекторном совещании). В свою очередь, номинальный объем промышленного производства в Азербайджане в первом полугодии 2024 года оценивается в 0,9%: по сообщению Госкомстата страны, 65% объема производства пришлось на добывающую промышленность, 29,2% – на перерабатывающую.

В Республике Казахстан на сегодняшний день активно идет добыча медных руд, урана, золота и других ископаемых. Горная промышленность включает в себя ряд уникальных и сложных процессов, среди которых: открытые работы на карьерах и разрезах или подземная выработка в шахтах, бурение, выемка минерального сырья, выщелачивание и экстракция ископаемых, измельчение и дробление, организация хвостохранилищ и транспортировка



добытой руды. Для каждого из этих сегментов нужны грамотная организация рабочей площадки, соблюдение необходимых норм безопасности и, безусловно, применение специализированной техники, которая требует особого подхода к ремонту.

Интенсивному износу подвержены детали и навесное оборудование практически всей горнодобывающей производственной техники. Современные решения для ремонта и обслуживания требуются при восстановлении загрузочных желобов и молотов дробилок, ковшей и других компонентов экскаваторов, драглайнов и грейдеров, кузовов самосвалов, стакеров, конвейеров, мельниц для руды, буровых установок и многих других машин.

Причиной поломки может быть как изнашивание детали, так и повреждение, полученное при нарушении правил эксплуатации. Не всегда возможно просчитать все риски эксплуатации на этапе производства или приема техники – каждый объект уникален. А когда дело доходит до ремонта и обслуживания горнодобывающих установок, универсального подхода не существует. Условно говоря, два одинаковых экскаватора, работающие на разных участках одного карьера, уже будут изнашиваться по-разному. Это зависит от многих факторов: качества оборудования, срока эксплуатации техники, типов и фракции руды, особенностей ландшафта, квалификации оператора и специалистов техобслуживания. А даже один день простоя сломанного оборудования и сложная починка могут обойтись предприятию в тысячи долларов.

СВАРОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ НА СТРАЖЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОЦЕССА

Одним из простых и в то же время эффективных решений сохранности машин на ходу является своевременный мониторинг возможных поломок и быстрое их устранение с использованием оборудования нового поколения для сварки и резки, в том числе строжки. Причем важны оба этих условия – быстрое выявление проблемы и высокая технологичность сварочного аппарата

и материалов. Не менее действенной будет и профилактика – наплавка штучными электродами или порошковой проволокой, лазерное плакирование, другие варианты нанесения защитных покрытий на металл. Уделяя внимание таким «превентивным мерам», предприятие может избежать сложного ремонта, при котором будут потрачены намного большие ресурсы, чем те, которые

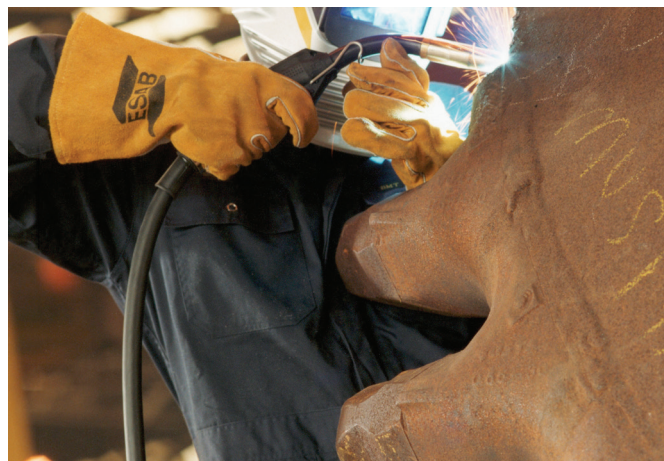
бы понадобились на качественную предэксплуатационную подготовку.

Если говорить о технологиях ремонта трещин, то в этом процессе нет мелочей. На первых этапах рекомендуется применять угольную строжку – тонкую резку или «зачистку» металла с целью выявления точной площади дефекта детали, различных трещин и сколов. Для строжки требуется специальное оборудование, а также угольные электроды с источником питания в 700-800 ампер. Затем происходит процесс наплавки – «заварки» трещин. Для такой сварки потребуется штучный электрод с хорошими показателями относительного удлинения. Например, подойдут электроды ОК 48.00, предназначенные для сварки ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей. Также могут подойти электроды УОНИИ 13/55 с меньшими характеристиками. Если основной металл не известен, и есть подозрение, что это тяжелосвариваемая сталь, то лучшим выбором будут электроды ОК 68.82.

От соблюдения правильного выбора и последовательности процесса с применением разных техник и материалов напрямую зависит качество и срок службы отремонтированной детали. И, конечно, в арсенале сварщика должен быть современный аппарат, способный выполнять сразу несколько функций. Простое, но мощное оборудование, которое будет работать в особо тяжелых условиях.

«Когда мы говорим о горнодобывающей отрасли, то предполагаем, что этот сегмент промышленности требует самого серьезного и комплексного подхода к организации ремонтных работ. Техника – сложная и дорогая, условия ее эксплуатации предполагают повышенные нагрузки и всевозможные риски, поэтому износ – неиз-

бежен. А восстановление такого оборудования требует максимально точной и профессиональной работы. В сварочном процессе ремонта важно абсолютно все, начиная от современного функционального аппарата и заканчивая специализированными материалами. Например, электрод для заварки трещин на некоторых предприятиях используется и для наплавки. Это в корне не верно: такой материал не даст достаточной твердости, и деталь очень быстро выйдет из строя. А каждый ремонт уменьшает срок хода машины в несколько раз. Это одно из доказательств простой истины – чем лучше оборудован сварочный пост, чем ответственнее соблюдается технология работы, тем больше ресурсов и времени компания сэкономит на ремонте спецтехники», – подчеркнул Давид Пак.



АППАРАТЫ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГОРНОГО ДЕЛА

У каждой отрасли есть уникальные потребности и проблемы поддержания оборудования в рабочем состоянии. На сегодняшний день компания ESAB предлагает в помощь горно-шахтным предприятиям комплексные решения, специализированные для различных видов ремонта и технического обслуживания. Готовые решения ESAB помогают выполнять сварочные работы быстрее, минимизировать износ компонентов, сокращать количество необходимых запасных частей и, следовательно, снижать себестоимость добычи. При этом простые и мощные сварочные инверторы могут выполнять несколько функций, тем самым экономя затраты на пополнение парка ремонтной техники и время на обучение сварщика.

Так, аппарат Warrior 500i CC/CV поддерживает режимы MIG/MAG сварки, в том числе порошковой проволокой, и воздушно-дуговой строжки угольным электродом. Его «собрат» – Warrior 750i CC/CV предназначен для длительных сварочных операций при токе до 850 ампер, также подходит для строжки с электродами 13 мм. Обе модели укомплектованы механизмом подачи проволоки Robust Feed PRO, подходящим для работы в тяжелых условиях, а Warrior 500i CC/CV можно также оснастить блоком охлаждения Cool 2. Такое оборудование подойдет для работы на открытом воздухе, в том числе на карьере, к тому

же позволит сварщику сосредоточиться на качественном выполнении профессиональной задачи. Например, с современной техникой он не будет отвлекаться на настройку технологически устаревшего аппарата.

Нельзя забывать и о том, что в горно-шахтном сегменте существует ряд требований к использованию сварочных материалов. Обусловлено это тем, что при любом ремонте уже нельзя дать 100% гарантию, что активно изнашиваемая деталь спецтехники будет работать очень долго. Однако при качественно выполненной наплавке она прослужит достаточный срок. Но для этого рекомендуется использовать специально подобранные электроды, сплошные и порошковые проволоки, флюсы. А для сложных особых областей применения потребуются порошки или прутки для разных типов наплавки: плазменной (РТА), лазерной, ацетилен-кислородным пламенем.

Не секрет, что любую проблему проще и дешевле решить на этапе, когда она еще не повлекла за собой серьезные последствия, а еще лучше принять «профилактические» меры еще до ее возникновения. Для горно-шахтного сегмента это утверждение особенно актуально. Поэтому такая сложная, но при этом стратегически важная для государства отрасль должна быть обеспечена качественной техникой, современным оборудованием и новыми технологиями.

Код МРНТИ 52.13.25

А.А. Мусин, *А.Ж. Имашев, Н.Қ. Шәйке, А.М. Суимбаева

Қарағандинский технический университет имени Абылқаса Сағинова (г. Қарағанда, Қазақстан)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБНАЖЕНИЙ ПРИ ОТРАБОТКЕ НАКЛОННЫХ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ КАМЕРНО-СТОЛБОВОЙ СИСТЕМОЙ РАЗРАБОТКИ

Аннотация. Статья посвящена разработке ресурсосберегающих технологий отработки наклонных залежей с применением камерно-столбовой системы разработки. В статье установлены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород в зависимости от технологических параметров очистного забоя для обоснования применения камерно-столбовой системы разработки при отработке наклонных рудных залежей. Изучение изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород при отработке наклонных залежей камерно-столбовой системой разработки проводилось методом конечных элементов. Получены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) вокруг очистной выработки.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, геологический индекс прочности, наклонные залежи, ресурсосберегающие технологии, численное моделирование, метод конечных элементов, между камерный целик.

Камералық-бағаналы қазу жүйесімен көлбеу кен орындарын өңдеу кезінде техногендік ашылымдардың орнықты жай-күйін анықтау

Андатпа. Мақала камералық-бағаналы қазу жүйесін қолдана отырып, көлбеу кен орындарын өңдеудің ресурс үнемдейтін технологияларын жасауға арналған. Мақалада көлбеу кен орындарын өңдеу кезінде камералық-бағаналы қазу жүйесін қолдануды негіздеу үшін тазарту кенжарының технологиялық параметрлеріне байланысты тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйінің өзгеру заңдылықтары анықталған. Көлбеу кен орындарын камералық-бағаналы қазу жүйесімен өңдеу кезінде тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйінің өзгеруін зерттеу соңғы элементтер әдісімен жүргізілді. Тазарту қазбасының айналасындағы кернеулі-деформацияланған күйдің (КДК) өзгеру заңдылықтары алынды.

Түйінді сөздер: кернеулі-деформацияланған күй, геологиялық беріктік индексі, көлбеу кен орындары, ресурс үнемдеу технологиялары, сандық модельдеу, ақырғы элементтер әдісі, камералық аралық кентірек.

Determination of the stable state of man-made outcrops during the mining of inclined ore deposits by a chamber-pillar mining system

Abstract. The article is devoted to the development of resource-saving technologies for mining inclined deposits using a chamber-pillar mining system. The article establishes the patterns of changes in the stress-strain state of the rock mass depending on the technological parameters of the treatment face to justify the use of a chamber-column mining system for mining inclined ore deposits. The study of changes in the stress-strain state of a rock mass during the mining of inclined deposits by a chamber-column mining system was carried out by the finite element method. Patterns of changes in the stress-strain state (VAT) around the treatment plant have been obtained.

Key words: Stress-strain state, geological strength index, inclined deposits, resource-saving technologies, numerical modeling, finite element method, inter-chamber whole.

Введение

За многолетний период ведения горных работ произошли существенные изменения горно-геологических и горнотехнических условий разработки Жезказганского месторождения.

Запасы Центрального рудного поля, залегающие ближе к поверхности и на средних глубинах (до 300 м), практически отработаны и погашены. В настоящее время горные работы, в основном, перешли на периферийные участки, переходящие на глубокие горизонты (глубина 500 м и ниже) и представленные сложными горно-геологическими условиями (наклонное залегание рудных залежей, малая мощность рудных тел 3-5 метра, повышенная трещиноватость руд и вмещающих пород, сложная литология подрабатываемой толщи), где преобладают тектонические разломы и высока вероятность динамического проявления горного давления.

Ниже на диаграммах показаны запасы Жезказганского месторождения, распределенные по углам падения (рис. 1) и по мощности (рис. 2) рудных залежей.

По анализу, продемонстрированному на рис. 1, видно, что доля наклонных залежей углом падения 15-35° составляет 32,4%, то есть одну треть от общего утвержденного балансового запаса, тогда как доля маломощных рудных залежей (рис. 2) мощностью 3-5 метра составляет 18,0%.

Для эффективной и полноценной разработки Жезказганского месторождения возникла необходимость отработке ранее оставленных неактивных запасов наклонных залежей (15-35°) с мощностью 3-5 метров.

В правилах [1] обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы, указано, что для отработки горизонтальных и пологих (с углом падения залежи до 20 градусов) рудных залежей мощностью до 18 метров камерно-столбовой системой разработки, выемка рудных тел производится в два этапа: выемка камерных запасов, затем выемка целиков (повторная отработка). А наклонные (20-50 градусов) и крутопадающие (более 50 градусов) рудные тела обрабатываются системами разработки с закладкой или полным обрушением выработанного пространства.

Согласно ранее проведенным исследованиям [2] установлено, что угол наклона рудной залежи не сильно влияет на напряженно-деформированное состояние массива горных пород вокруг очистных выработок, а также выявлена прямая связь между устойчивым состоянием массива горных пород и расстоянием между смежными рудными залежами. Таким образом, авторы указывают, что при мощности породного моста 5 м возникают растягивающие напряжения значительной величины (7,5 МПа), что в свою очередь приводит к потере несущей способности. А при мощности породного моста 10 м максимальные растягивающие напряжения снижаются до 2,5 МПа, что обеспечивает более чем двукратный запас прочности.

Согласно ранее проведенным исследованиям [2] установлено, что угол наклона рудной залежи не сильно влияет на напряженно-деформированное состояние массива горных пород вокруг очистных выработок, а также выявлена прямая связь между устойчивым состоянием массива горных пород и расстоянием между смежными рудными залежами. Таким образом, авторы указывают, что при мощности породного моста 5 м возникают растягивающие напряжения значительной величины (7,5 МПа), что в свою очередь приводит к потере несущей способности. А при мощности породного моста 10 м максимальные растягивающие напряжения снижаются до 2,5 МПа, что обеспечивает более чем двукратный запас прочности.

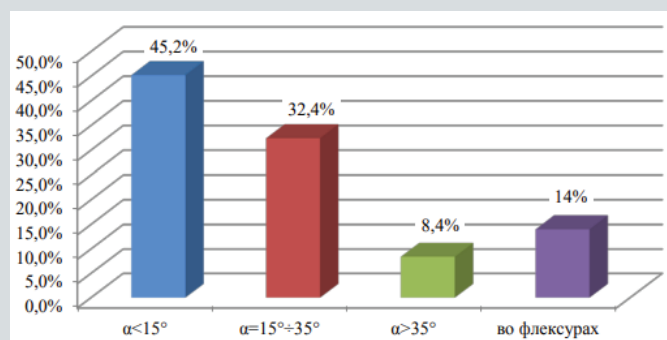


Рис. 1. Диаграмма распределения запасов руд по углам падения.

Сурет 1. Кен қорларының құлау бұрыштары бойынша бөліну диаграммасы.

Figure 1. A diagram of the distribution of ore reserves by angles of incidence.

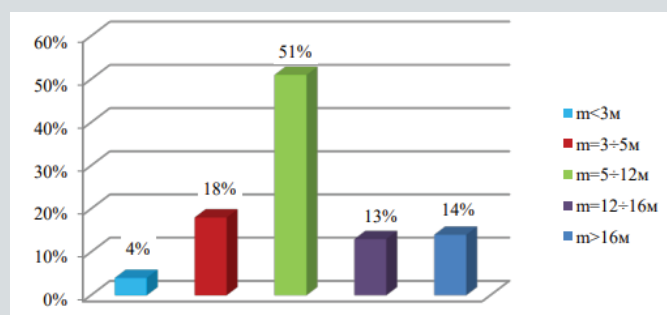


Рис. 2. Диаграмма распределения запасов руд по мощности.

Сурет 2. Кен қорларының қуаттылығы бойынша бөліну диаграммасы.

Figure 2. A diagram of the distribution of ore reserves by capacity.

Целью настоящей статьи является исследование влияния угла залегания горных пород на зону разрушения массива вокруг выработки при изменении показателя GSI и высоты камеры. Изучение геомеханического состояния массива горных пород проведено с использованием обобщенного критерия разрушения Хука-Брауна [3]. Этот критерий прочности очень популярен в геомеханических исследованиях стран Европы, Северной Америки и Австралии. Основной идеей разработки эмпирического критерия Хука-Брауна является то, что авторы указывают на необходимость корректного перехода от прочности образца к прочности в массиве.

Объектом исследования является приконтурная часть очистной выработки, пройденная в массиве с залеганием горных пород под углом 15, 20, 25, 30, 35 градусов, мощностью камеры 4 метра, а также GSI 35, 45, 55 и 65.

Выбор метода исследования

Изучение напряженно-деформированного состояния массива горных пород и их свойства являются основой для прогноза и оценки горного давления, вывалов, разуплотнения, выпора, отслаивания и других негативных геомеханических процессов и явлений, развивающихся

во времени при проходке и эксплуатации подземных сооружений [4].

Решение геомеханических задач в аналитической постановке предполагает использование достаточно простых расчетных схем. На современном этапе развития методов исследования широкие возможности открывают многочисленные методы решения, заимствованные из механики деформируемого твердого тела. Наиболее эффективными из них являются метод конечных элементов (МКЭ) [5] и метод граничных элементов (МГЭ) [6].

Для решения различных задач в области геомеханики чаще всего используется метод конечных элементов, который имеет больше возможностей для моделирования различных неоднородностей среды и нелинейности физических связей. С учетом этого МКЭ выгодно отличается возможностью получения решений в нелинейной постановке, то есть в предположении, что среда деформируется не упруго и допускает пластическую деформацию или хрупкое разрушение. Таким образом, это делает его удобным и мощным инструментом для решения различных нелинейных задач. МКЭ характеризуется простотой расчета упругого состояния тел из некоторых материалов с нерегулярными границами, а также простотой учета различных граничных условий [7]. Аппарат МКЭ применим не только для решения плоских задач, пространственная область массы также может быть аппроксимирована сплошными конечными элементами [8].

Э. Хоек в своих многочисленных исследованиях предложил метод [9] определения прочности массива горных пород, который основывается на оценке блочности массива и состояния трещин.

Основными физико-механическими свойствами горных пород, определяющими их устойчивость в обнажениях и целиках и используемыми в горнотехнических расчетах при проектировании параметров систем разработки и оценке устойчивости выработанных пространств, являются удельный вес, прочность на сжатие и на растяжение, сцепление горных пород, угол внутреннего трения, модуль упругости, коэффициент Пуассона.

Следует различать физико-механические свойства горных пород в образцах и в массиве. Свойства горных пород в образцах определяются путем испытания kernового материала на прессах в лабораторных условиях по известным методикам. Свойства массива горных пород с учетом ослабляющего влияния трещин определяются с помощью испытаний призм горных пород в местах естественного залегания, а также с помощью перерасчета свойств в образце на свойства массива путем введения коэффициента структурного ослабления массива при анализе причин разрушения целиков.

Основная часть

Численный анализ проводился в ограниченных горнотехнических условиях, максимально приближенных к горнотехническим и горно-геологическим условиям Жезказганского месторождения. Исходные данные для численного анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные для численного моделирования

Кесте 1

Сандық модельдеуге арналған бастапқы мәліметтері

Table 1

Initial data for numerical modeling

GSI	Угол падения залежи	Высота камеры, м	Параметр нетронутого массива	Фактор нарушения	Коэффициент Пуассона	Прочность на одноосное сжатие, МПа
35	15 град.	4	10	0.25	0.3	100
45	20 град.					
55	25 град.					
65	30 град.					
	35 град.					

В статье рассматривается вопрос влияния геологического индекса прочности (GSI), угла падения горных пород и высоты камеры на зону разрушения вокруг очистной выработки.

По стандартам международного общества по горной механике (ISRM) для безопасного ведения горных работ, коэффициент запаса устойчивости горных пород должен быть выше значения 1.2.

Значение 1.2, использованное в рамках численного моделирования, принято на основании исследования Рида и Стэйси (2009 г.), проведенного в продолжение работ Суона и Сепульведы (2000 г.), результаты данных исследования признаны международным обществом по горной механике (ISRM).

Геомеханическая модель представляет однородную среду с очистным пространством шириной 12 метров, расположенную на глубине 400 метров. Высота камеры 4 метра. Ширина междукамерных целиков (МКЦ) составляет 8 метров.

На рисунках 3-7 представлены результаты численного анализа, рассчитанного методом конечных элементов.

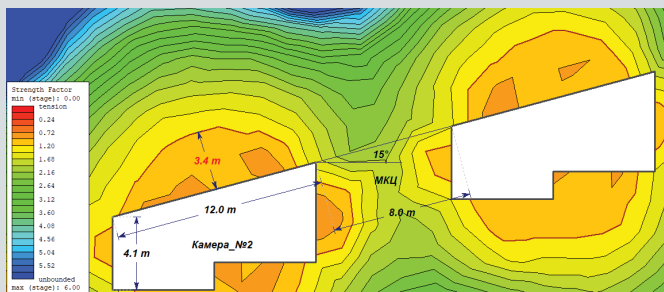


Рис. 3. Высота зоны неупругих деформаций при угле наклона рудных залежей 15°.

Сурет 3. Кен орындарының құлауының 15° бұрышындағы серпімді емес деформациялар аймағының биіктігі.

Figure 3. The height of the zone of inelastic deformations at an angle of inclination of ore deposits of 15°.

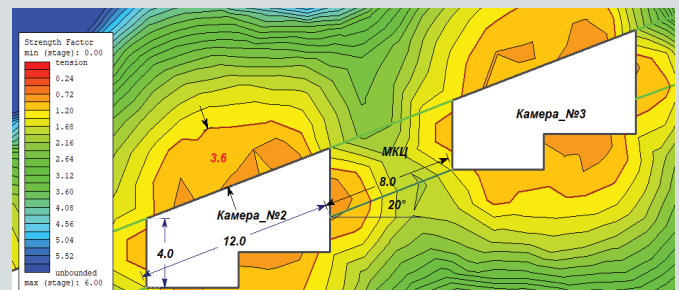


Рис. 4. Высота зоны неупругих деформации при угле наклона рудных залежей 20°.

Сурет 4. Кен орындарының құлауының 20° бұрышындағы серпімді емес деформациялар аймағының биіктігі.

Figure 4. The height of the zone of inelastic deformations at an angle of inclination of ore deposits of 20°.

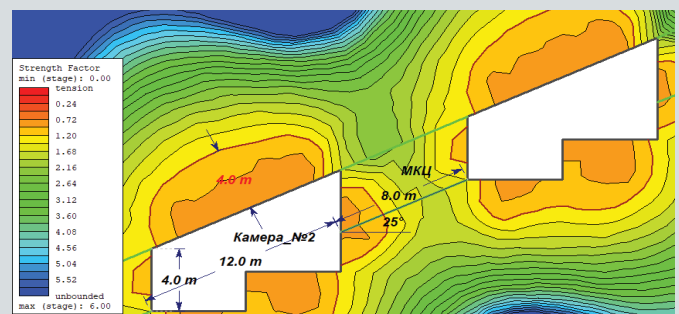


Рис. 5. Высота зоны неупругих деформации при угле наклона рудных залежей 25°.

Сурет 5. Кен орындарының құлауының 25° бұрышындағы серпімді емес деформациялар аймағының биіктігі.

Figure 5. The height of the zone of inelastic deformations at an angle of inclination of ore deposits of 25°.

На основе анализа данных, полученных в ходе выполнения численного моделирования, построен график изме-

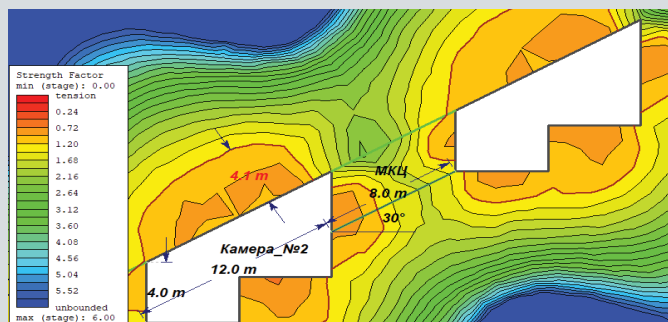


Рис. 6. Высота зоны неупругих деформации при угле наклона рудных залежей 30°.

Сурет 6. Кен орындарының құлауының 30° бұрышындағы серпімді емес деформациялар аймағының биіктігі.

Figure 6. The height of the zone of inelastic deformations at an angle of inclination of ore deposits of 30°.

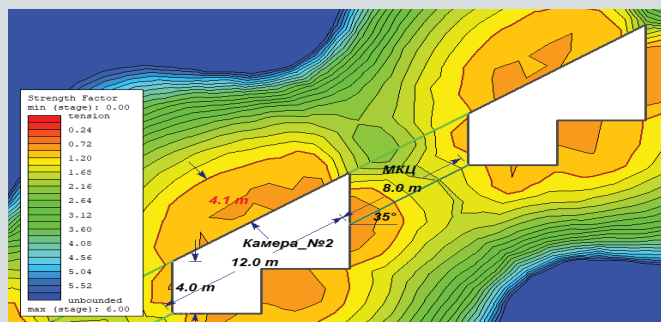


Рис. 7. Высота зоны неупругих деформации при угле наклона рудных залежей 35°.

Сурет 7. Кен орындарының құлауының 35° бұрышындағы серпімді емес деформациялар аймағының биіктігі.

Figure 7. The height of the zone of inelastic deformations at an angle of inclination of ore deposits of 35°.

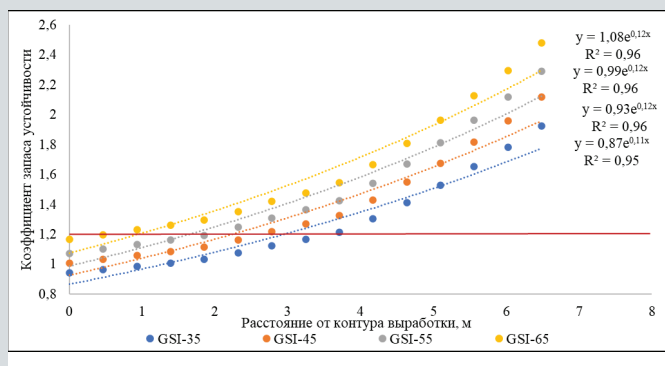


Рис. 8. Изменение коэффициента запаса устойчивости в зависимости от GSI.

Сурет 8. GSI байланысты тұрақтылық қорының коэффициентін өзгерту.

Figure 8. Change in the coefficient of stability margin depending on GSI.

нения коэффициента запаса устойчивости в зависимости от значения GSI (рис. 8).

По графику, представленному на рисунке 9, видно, что при угле наклона залежей 20 градусов, ЗНД больше, чем при угле наклона 15 градусов, однако с увеличением угла наклона от 25 до 35 градусов значение ЗНД практически не изменяется. То есть из полученных результатов следует предполагать, что угол наклона существенно влияет на устойчивость очистной камеры до угла наклона 25 градусов, далее, с увеличением угла наклона до 35 градусов, значение ЗНД практически не увеличивается.

На основе обработки и анализа данных, полученных в ходе выполненных исследований, сформулированы следующие логарифмические уравнения для определения зон неупругих деформаций при угле наклона залежей до 20 градусов (1) и при угле наклона залежей более 20 градусов (2):

$$ЗНД_{<20} = -4,7 \ln(GSI) + 20,5. \quad (1)$$

$$ЗНД_{>20} = -3,2 \ln(GSI) + 15,7. \quad (2)$$

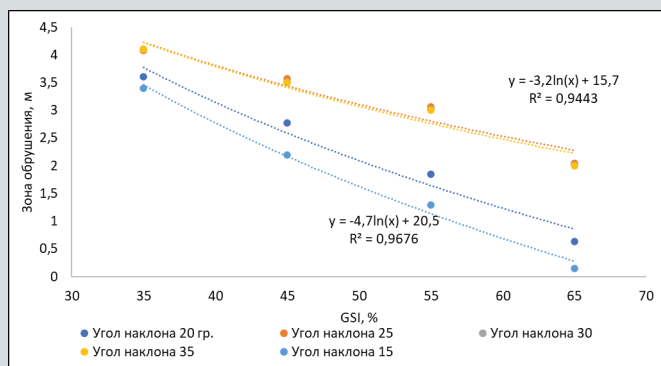


Рис. 9. График изменения зон разрушения горных пород в кровле в зависимости от угла падения.

Сурет 9. Құлау бұрышына байланысты шатырдағы тау жыныстарының бұзылу аймақтарының өзгеру кестесі. Figure 9. Graph of changes in the zones of rock destruction in the roof depending on the angle of incidence.

Результаты, полученные в ходе выполненных исследований на основе численных методов конечных элементов, могут быть применены для обоснования оптимальных параметров очистной камеры и междукамерных целиков при разработке наклонных залежей камерно-столбовой системы разработки.

Выводы

1. Анализ результатов выполненных исследований показывает, что на увеличение площади обрушения горных пород приконтурной части очистной камеры существенное влияние оказывают значение GSI и возрастания угла наклона залежи от 15° до 25°, тогда как возрастания угла наклона рудных залежей от 25° до 35° практически не оказывает влияние на увеличение площади зоны разрушения.

2. На основе численного моделирования массива горных пород углами падения в диапазоне 15-35 градусов методами конечных элементов и в результате дальнейшего анализа полученных данных о напряженно-деформационном состоянии были построены графики зависимости,

позволяющие определять коэффициент запаса прочности (Strength Factor) в зависимости от геологического индекса прочности (GSI).

3. По полученным результатам в ходе проведения анализа установлено, что коэффициент запаса прочности (SF) напрямую зависит от рейтинга GSI и угла падения залежей.

4. В ходе выполненных исследований построены график зависимости и сформулированы логарифмические уравнения для определения зон неупругих деформаций в

зависимости от значения GSI и угла падения наклонных залежей.

Благодарность

Статья опубликована в рамках грантового финансирования по научным и (или) научно-техническим проектам на 2024-2026 годы (ИРН – АР23489856), при финансировании Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы. Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 декабря 2014 года №352. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 13 февраля 2015 года №10247 (на русском языке)
2. Arnat Salkynov. Исследование деформационных процессов в массиве горных пород, окружающем очистной забой, при разработке наклонных рудных месторождений. / Arnat Salkynov, Arailym Rymkulova, Aigerim Suimbayeva, Sholpan Zeitinova. // Mining of Mineral Deposits. 2023. №17(2). С. 82-90 (на английском языке)
3. Hoek E. Критерий разрушения Хука-Брауна и GSI. / E. Hoek, E.T. Brown. // Журнал механики горных пород и геотехнической инженерии. 2019. Т. 11. Вып. 3. С. 445-463 (на английском языке)
4. Барыкина О.С. Оценка влияния проходки туннеля на напряженно-деформированное состояние неоднородного скального массива в сложных геологических и сейсмоструктурных условиях. / О.С. Барыкина, И.К. Фоменко, О.В. Зеркаль. // Геотехника. 2021. Т. 8. С. 6-18 (на русском языке)
5. Cattenone A. Конечный элементный анализ аддитивного производства на основе моделирования наплавленного напыления: прогноз искажений и сравнение с экспериментальными данными. / Cattenone A., Morganti S., Alaimo G., Auricchio F. // Journal of Manufacturing Science and Engineering. 2019. №141(1). Ст. №011010 (на английском языке)
6. Zhang C. Методы анализа разрушения угольных пластов и оценки неустойчивости: краткий обзор и перспективы. / Zhang C., Zhao Y., Han P., Bai Q. // Engineering Failure Analysis. 2022. Т. 138. Ст. №106344 (на английском языке)
7. Lopez-Vinielles J. Объединение спутниковых InSAR. Наклонные блоки и конечно-элементное моделирование для анализа устойчивости в местах захоронения отходов горнодобывающей промышленности. / Lopez-Vinielles J., Fernandez-Merodo J.A., Ezquerro P., Garcia-Davalillo J.C., Sarro R., Reyes-Carmona C., Herrera G. // Remote Sensing. 2021. Т. 13. Вып. 13 (10). Ст. №2008 (на английском языке)
8. Sepehri M. Оценка энергии, связанной с добычей полезных ископаемых, и прогнозирование извержений горных пород на алмазном руднике в Канаде с использованием полной трехмерной упругопластической конечно-элементной модели. / Sepehri M., Apel D.B., Adeeb S., Leveille P., Hall R.A. Engineering Geology. 2020. Т. 266. Ст. №105457 (на английском языке)
9. Hoek E. Прочность горных пород и скальных массивов. // ISRM News Journal. 1994. №2 (2). Р. 4-16 (на английском языке)
10. Hoek E., Carter T.G., Diederichs M.S. Количественная оценка диаграммы индекса геологической прочности. Pro-ceedings of the 47th US Rock Mechanics. // Geomechanics Symposium, June 23-26, 2013, San Francisco, CA, USA. – С. 1-8 (на английском языке)
11. Имашев А.Ж. Повышение эффективности буровзрывных работ с учетом структурных и прочностных свойств массива. / А.Ж. Имашев, А.Е. Судариков, А.А. Мусин, А.К. Матаев. // «Горный журнал Казахстана». 2020. №8. С. 29-35 (на русском языке)
12. Imashev A. Исследование напряженно-деформированного состояния массива под карьером при изменении ширины забоя карьера. / Imashev A., Suimbayeva A., Zeitinova Sh., Kuttybayev A., Zhunusbekova G., Mussin A. // Mining of Mineral Deposits. 2022. Т. 16. Вып. 3. С. 61-66 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Тау-кен және геологиялық барлау жұмыстарын жүргізетін қауіпті өндірістік объектілер үшін өнеркәсіптік қауіпсіздікті қамтамасыз ету қағидалары. Қазақстан Республикасы Инвестициялар және даму министрінің 2014 жылғы 30 желтоқсандағы №352 бұйрығы. Қазақстан Республикасының Әділет министрлігінде 2015 жылғы 13 ақпанда №10247 болып тіркелді (орыс тілінде)

2. Arnat Salkynov. Көлбеу кен орындарын өндіру кезінде ашу кенжарын қоршап тұрған тау жыныстарының деформация процестерін зерттеу. / Arnat Salkynov, Arailym Rymkulova, Aigerim Suimbayeva, Sholpan Zeitinova. // *Mining of Mineral Deposits*. 2023. №17 (2). С. 82-90 (ағылшын тілінде)
3. Hoek E. Hoek-Brown тұрақсыз критерийі және GSI. / E. Hoek, E.T. Brown. // *Тау жыныстары механикасы және геотехникалық инженерия журналы*. 2019. Т. 11. Шығ. 3. Б. 445-463 (ағылшын тілінде)
4. Барыкина О.С. Күрделі геологиялық және сейсмоструктуралық жағдайларда гетерогенді жыныс массивінің кернеулі-деформацияланған күйіне туннельді үңгілеудің әсерін бағалау. / О.С. Барыкина, И.К. Фоменко, О.В. Зеркаль. // *Геотехника*. 2021. Т. 8. Б. 6-18 (орыс тілінде)
5. Cattenone A. Тұндырылған тұндыруды модельдеу негізінде қоспалар өндірісінің ақырғы элементтерін талдау: Бұрмалануларды болжау және эксперименттік мәліметтермен салыстыру. / Cattenone A., Morganti S., Alaimo G., Auricchio F. // *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 2019. №141 (1). Мақ. №011010 (ағылшын тілінде)
6. Zhang C. Көмір бағаналарының істен шығуын талдау және тұрақсыздықты бағалау әдістері: қысқаша шолу және перспектива. / Zhang C., Zhao Y., Han P., Bai Q. *Engineering Failure Analysis*. 2022. Т. 138. Мақ. №106344 (ағылшын тілінде)
7. Lopez-Vinielles J. InSAR спутниктерін біріктіру. Тау-Кен қалдықтарын кәдеге жарату учаскелеріндегі тұрақтылықты талдау үшін көлбеу қондырғылар және ақырлы элементтерді модельдеу. / Lopez-Vinielles J., Fernandez-Merodo J.A., Ezquerro P., Garcia-Davalillo J.C., Sarro R., Reyes-Carmona C., Herrera G. // *Remote Sensing*. 2021. Т. 13. Шығ. 13 (10). Мақ. №2008 (ағылшын тілінде)
8. Sepehri M. Тау-кен өндірісінен туындаған энергияны бағалау және канададағы алмаз кенішіндегі тау-кен жарылыстарын болжау, эласто пластикалық ақырлы элементтердің толық 3d моделін қолдана отырып. / Sepehri M., Apel D.B., Adeeb S., Leveille P., Hall R.A. // *Engineering Geology*. 2020. Т. 266. Мақ. №105457 (ағылшын тілінде)
9. Hoek E. Тау жыныстары мен тау жыныстарының массаларының беріктігі. // *ISRM News Journal*. 1994. №2 (2). Р. 4-16 (ағылшын тілінде)
10. Hoek E., Carter T.G., Diederichs M.S. Геологиялық беріктік индексінің кестесін сандық бағалау. *Pro-ceedings of the 47th US Rock Mechanics*. // *Geomechanics Symposium*, June 23-26, 2013, San Francisco, CA, USA, – Б. 1-8 (ағылшын тілінде)
11. Имашев А.Ж. Массивтің құрылымдық және беріктік қасиеттерін ескере отырып, бұрғылау-жару жұмыстарының тиімділігін арттыру. / Имашев А.Ж., Судариков А.Е., Мусин А.А., Матаев А.К. // «Горный журнал Казахстана». 2020. №8. Б. 29-35 (орыс тілінде)
12. Imashev A. Аршықтың астындағы массаның кернеулі-деформациялық күйін түбінің енінің өзгеруімен зерттеу. / Imashev A., Suimbayeva A., Zeitinova Sh., Kuttybayev A., Zhunusbekova G., Mussin A. // *Mining of Mineral Deposits*. 2022. Т. 16. Шығ. 3. Б. 61-66 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. *Pravila obespecheniya promyshlennoi bezopasnosti dlya opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov, vedushchikh gornye i geologorazvedochnye raboty. Prikaz Ministra po investitsiyam i razvitiyu Respubliki Kazakhstan ot 30 dekabrya 2014 goda №352. Zaregistririvan v Ministerstve yustitsii Respubliki Kazakhstan 13 fevralya 2015 goda №10247 [Rules for ensuring industrial safety for hazardous production facilities conducting mining and geological exploration. Order of the Minister of Investment and Development of the Republic of Kazakhstan dated December 30, 2014 №352. Registered with the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on February 13, 2015 №10247] (in Russian)*
2. Arnat Salkynov. Research into deformation processes in the rock mass surrounding the stopping face when mining sloping ore deposits. / Arnat Salkynov, Arailym Rymkulova, Aigerim Suimbayeva, Sholpan Zeitinova. // *Mining of Mineral Deposits*. 2023. №17 (2). P. 82-90 (in English)
3. Hoek E. Hoek-Brown failure criterion and GSI. / E. Hoek, E.T. Brown. // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019. Vol. 11. Issue 3. P. 445-463 (in English)
4. Barykina O.S. Otsenka vliyaniya prokhodki tunnelya na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie neodnorodnogo skal'nogo massiva v slozhnykh geologicheskikh i seismotektonicheskikh usloviyakh. / O.S. Barykina, I.K. Fomenko, O.V. Zerkal'. // *Geotekhnika*. 2021. Т. 8. S. 6-18 [Barykina O.S. Assessment of the influence of tunneling on the stress-strain state of a heterogeneous rock mass in complex geological and seismotectonic conditions. / O.S. Barykina, I.K. Fomenko, O.V. Mirror. // *Geotechnics*. 2021. Vol. 8. P. 6-18] (in Russian)
5. Cattenone A. Finite element analysis of additive manufacturing based on fused deposition modeling: distortion prediction and comparison with experimental data. / Cattenone A., Morganti S., Alaimo

- G., Auricchio F. // *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 2019. №141(1). Art. №011010 (in English)
6. Zhang C. *Methods for coal seam failure analysis and instability assessment: brief review and prospects.* / Zhang C., Zhao Y., Han P., Bai Q. // *Engineering Failure Analysis*. 2022. Vol. 138. Art. №106344 (in English)
 7. Lopez-Vinielles J. *Satellite InSAR fusion. Tilt blocks and finite element modeling for stability analysis in mining waste disposal sites.* / Lopez-Vinielles J., Fernandez-Merodo J.A., Ezquerro P., Garcia-Davalillo J.C., Sarro R., Reyes-Carmona C., Herrera G. // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. Issue. 13 (10). Art. №2008 (in English)
 8. Sepehri M. *Mining energy estimation and rock eruption prediction at a diamond mine in Canada using a full three-dimensional elastoplastic finite element model.* / Sepehri M., Apel D.B., Adeeb S., Leveille P., Hall R.A. *Engineering Geology*. 2020. Vol. 266. Art. №105457 (in English)
 9. Hoek E. *Strength of rock and rock masses.* // *ISRM News Journal*. 1994. №2 (2). P. 4-16 (in English)
 10. Hoek E., Carter T.G., Diederichs M.S. *Quantification of geological strength index diagram. Proceedings of the 47th US Rock Mechanics. // Geomechanics Symposium, June 23-26, 2013, San Francisco, CA, USA. – P. 1-8 (in English)*
 11. Imashev A.Zh. *Povyshenie effektivnosti burovzryvnykh rabot s uchetom strukturnykh i prochnostnykh svoistv massiva.* / A.Zh. Imashev, A.E. Sudarikov, A.A. Musin, A.K. Mataev. // «Gornyi zhurnal Kazakhstana». 2020. №8. S. 29-35 [Imashev A.Zh. *Increasing the efficiency of drilling and blasting operations, taking into account the structural and strength properties of the massif.* / A.Zh. Imashev, A.E. Sudarikov, A.A. Musin, A.K. Mataev. // «Mining Journal of Kazakhstan». 2020. №8. P. 29-35] (in Russian)
 12. Imashev A. *Study of the stress-strain state of the massif under the quarry when changing the width of the quarry face.* / Imashev A., Suimbayeva A., Zeitinova Sh., Kuttybayev A., Zhunusbekova G., Mussin A. // *Mining of Mineral Deposits*. 2022. Vol. 16. Issue 3. P. 61-66 (in English)

Сведения об авторах:

Мусин А.А., PhD, ст. преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), musin_aibek@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6318-9056>

Имашев А.Ж., PhD, асс. профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), imashev_85@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9799-8115>

Шәйке Н.Қ., PhD, ст. преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), nurlan_shaike@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2395-4566>

Суимбаева А.М., и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), aygerim_86@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6582-9977>

Авторлар туралы мәліметтер:

Мусин А.А., PhD, «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының аға оқытушысы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Имашев А.Ж., PhD, «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының қауымдастырылған профессорі, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Шәйке Н.Қ., PhD, «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының аға оқытушысы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Суимбаева А.М., «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының доцент м.а., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Introduction about the authors:

Mussin A., PhD, Senior Lecturer of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Imashev A., PhD, associate professor of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Shaike N., Senior Lecturer of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Suimbayeva A.M., acting associate Professor of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Код МРНТИ 52.13.25

D.R. Akhmaturov, *N.M. Zamaliyev, M.S. Usenbekov, R.A. Musin
NJSU «Karaganda State Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR DETERMINING THE VOLUME OF CAVITIES OF GAS ACCUMULATIONS IN WASTE AREAS AND METHANE CONTENT

Abstract. The article explores the use of degassing wells for capturing and utilizing methane at the Kirovskaya mine. The study presents results from measurements of gas pressure and flow rate at the vacuum pump station. An analysis of the parameters of the methane-air mixture and methane concentration in the mined-out space confirms the accuracy of the gas collector volume calculations. Factors affecting methane concentration, such as the volume of voids and fractures, were investigated, and methods for managing gas emission were examined. Methane concentrations in the Karaganda Basin mines can reach 90-95% after ventilation ceases. Methane flow rates through degassing wells ranged from 4.9 to 1380.6 thousand m³, with a total capture of 7547.1 thousand m³ over 21 months. The results highlight the importance of degassing wells for the safe management of gas emission.

Key words: methane, gas mixture, degassing well, methane flow rate, methane content in the exhausted space.

Пайдаланылған учаскелердегі газ жинақтау қуыстарының көлемін және метан құрамын анықтау әдістемесін әзірлеу

Андапта. Мақала «Кировская» шахтасында метанды жинау және пайдалануға арналған дегазациялық скважиналардың қолданылуын зерттейді. Жұмыста вакуумды сорғыш станциядағы қысым мен газ дебитін өлшеу нәтижелері ұсынылған. Метан-ауаның қоспаларының және шахтадағы метан концентрациясының параметрлерін талдау жүргізіліп, газ жинаушы көлемін есептеу дәлдігі расталған. Метан концентрациясына әсер ететін факторлар, мысалы, қуыс және жарықшақтардың көлемі зерттелген, және газ шығару әдістері қарастырылған. Карагандин бассейні шахталарында метан концентрациясы проветриваниені тоқтатқаннан кейін 90-95%-ға жетуі мүмкін. Дегазациялық скважиналар арқылы метан дебиті 4,9-дан 1380,6 мың м³-ке дейін өзгеріп, 21 ай ішінде 7547,1 мың м³ метан жинақталған. Нәтижелер дегазациялық скважиналардың газ шығаруын қауіпсіз басқарудағы маңызды рөлін көрсетеді.

Түйінді сөздер: метан, газ қоспасы, газсыздандыру ұңғымасы, метан дебиті, өндірілген кеңістіктегі метан мөлшері.

Разработка методики определения объемов полостей газонакоплений на отработанных участках и содержания метана

Аннотация. Статья исследует применение дегазационных скважин для каптажа и утилизации метана на шахте «Кировская». В работе представлены результаты измерений давления и дебита газа в вакуум-насосной станции. Проведен анализ параметров метановоздушной смеси и концентрации метана в выработанном пространстве, что подтвердило точность расчетов объема газового коллектора. Исследованы факторы, влияющие на концентрацию метана, такие как объем пустот и трещин, и рассмотрены методы управления газовой выделением. Концентрация метана в шахтах Карагандинского бассейна может достигать 90-95% после прекращения проветривания. Дебит метана через дегазационные скважины колебался от 4,9 до 1380,6 тыс. м³, с общим захватом 7547,1 тыс. м³ за 21 месяц. Результаты подчеркивают важность дегазационных скважин для безопасного управления газовой выделением.

Ключевые слова: метан, газовая смесь, дегазационная скважина, дебит метана, содержание метана в выработанном пространстве.

Introduction

Methane is one of the primary gases released during coal mining and poses a significant threat to mine safety. In abandoned sections of the Karaganda coal basin mines, methane can accumulate in substantial quantities, creating a high risk of explosions and accidents. Methane is particularly dangerous when ventilation ceases in the mines, leading to concentrations reaching up to 90-95%. Therefore, developing methods for accurately calculating the volume of gas accumulations and determining methane concentration is a critical task for ensuring mine safety.

The aim of this research is to develop and test a method that will accurately determine the volume of voids where methane accumulates and calculate the methane concentration in the mined-out space. The research tasks include measuring pressure and gas flow parameters, as well as analyzing the dynamics of methane concentration changes based on the volume of voids and cracks in the mine. The study also focuses on developing methods for gas emission control and safe methane disposal for further use.

Research Methods

To determine the volumes of gas accumulations, a method based on measuring pressure and gas flow using a vacuum pumping station was employed. The calculations are based on the gas law known as Boyle's Law. By using the measured values of gas pressure before and after pumping a certain volume of gas mixture, the volume of gas accumulations can be cal-

culated. This method provides accurate data even when direct measurement of void volumes is challenging. Experimental data were collected at the Kirovskaya mine, where measurements of methane-air mixture parameters were conducted. Degassing wells connected to a vacuum pumping station were used for this purpose. During the experiments, gas pressure, methane concentration in the mixture, and the volume of gas passing through the wells were measured.

Special attention was given to the impact of void and crack volumes on methane concentration. It was found that the volume of voids significantly affects the final gas concentration, as confirmed by observing gas emission dynamics in the mined-out space.

Results and Discussion

The experiments provided data on methane concentration and gas volumes in the mined-out space of the Kirovskaya mine. The methane concentration in the methane-air mixture varied depending on the operation of the vacuum pumping station. At the beginning of the experiment, methane content in the mixture reached 34%, while under vacuum, it decreased to 31%. Over 21 months of operating degassing wells, 75,471 thousand cubic meters of methane were captured, confirming the effectiveness of the proposed method.

The analysis of methane concentration in relation to void volume showed that as the volume of voids increases, so does the methane concentration. In the mines of the Karaganda basin, methane concentration in the mined-out space can reach

90-95% after ventilation ceases. This requires careful monitoring and proper gas emission management to prevent hazardous consequences.

The experimental results indicated that the proposed method for calculating gas accumulation volumes works with high accuracy. Comparison with previous studies confirmed its applicability for practical mining needs. For example, similar trends were observed in other mines in the region, making the method versatile for use in the coal industry.

Conclusions

Based on the conducted research, it can be concluded that the proposed method for determining gas accumulation volumes and methane concentration in the mined-out space is an effective tool for managing gas emissions. Using degassing wells significantly reduces methane concentration in mines and ensures safe working conditions.

The proposed method can be successfully applied in the mines of the Karaganda basin and other coal regions for methane control and safe disposal. The results of this work can be used for further research in this field and the development of automatic gas concentration monitoring systems.

Theory of the issue

When solving operational issues of managing gas release from the exhaust space and simultaneous gas production for its use, a method for determining the volume of the gas reservoir is required, based on measuring the parameters of the exhaust gas (pressure, volume).

Since there is no real opportunity to measure the volume of the gas collector in the exhaust space of the mine using instrumental instruments, to solve this problem, this work considers a method for determining this parameter, based on measuring the gas pressure in this collector before and after extracting a certain volume of the gas mixture. This problem can be solved using the equation of gas state of a certain mass of gas, which is uniquely determined by thermodynamic parameters [1-4]: temperature t , volume V and gas pressure P .

Let us imagine the voids and delamination cavities in the waste space as a single volume (Figure 1) and assume a constant temperature of the gas mixture and the volume of the gas reservoir.

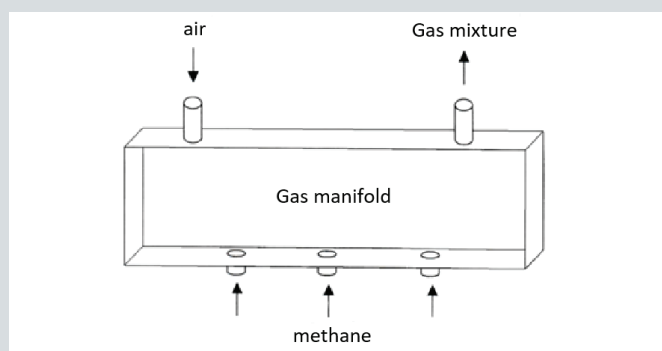


Figure 1. Scheme for determining the volume of the gas reservoir.

Сурет 1. Газ қабатының көлемін анықтау схемасы.
Рис. 1. Схема определения объема газового пласта.

To solve the problem of determining the volume of a gas reservoir, consider the following example. In a reservoir with a volume V_c (m^3), there is a gas [4] under pressure P_0 (mm Hg) and density ρ (kg/m^3).

During the time dt , a mass of gas is sucked out from a given volume or supplied into it in accordance with the formula:

$$Dm = qpd t, \quad (1)$$

where q – the amount of pumped gas, m^3/min ;
 ρ – density of the pumped gas, kg/m^3 .

On the other hand, the amount of gas contained in a given volume, after pumping it out (injecting it), will change by an amount according to the formula:

$$dm = V_x \cdot dp. \quad (2)$$

Then the law of conservation of mass will be written according to the formula:

$$V_k dp = \pm qpd t. \quad (3)$$

$$\frac{dp}{\rho} = \pm \frac{q dt}{V_k}. \quad (4)$$

We accept the sign (+) when creating pressure in the gas manifold, and the sign (-) when creating a vacuum in it.

Let's integrate the resulting expression within $P \in [P_0, P_1]$; $t, (s) \in [0, T]$ according to the formula:

$$\int_{P_0}^{P_1} \frac{dp}{\rho} = \pm \frac{q}{V_k} \int_0^T dt. \quad (5)$$

Solving equations (3), we obtain the formula:

$$\ln\left(\frac{P_1}{P_0}\right) = \pm \frac{qT}{V_k}. \quad (6)$$

From expression (4) we obtain a formula for calculating the value V_k of the goaf volume:

$$V_k = \pm \frac{qT}{\ln\left(\frac{P_1}{P_0}\right)}. \quad (7)$$

It is known that the equation of state of a gas is expressed by the dependence:

$$P = R_g t_g p, \quad (8)$$

where P – gas pressure, kgf/cm^2 ;

R_g – universal gas constant, $287 J/kg \text{ } ^\circ K$;

t_g – gas temperature, $^\circ K$.

Since in our example R_g and t_g do not change, the solution to (5) has the form of equality:

$$V_k = \pm \frac{qT}{\ln\left(\frac{P_1}{P_0}\right)}. \quad (9)$$

Based on the well-known Boyle-Mariotte law [5], the volume of the gas reservoir is determined by the formula:

$$V_k = \frac{P_0 Q}{P_0 - P_1}, \quad (10)$$

where Q is the amount of extracted gas, m^3 .

When pumping gas from a reservoir, it is necessary to take into account the simultaneous entry of methane into it from the remaining coal and air.

To solve the problem of practical determination of the volume of a gas reservoir, we introduce the following notation:

q_m, q_e – respectively, the amount of methane and air entering the gas collector, m^3/min ;

q_{cm} – amount of gas mixture extracted from the gas reservoir, m^3/min ;

C_m and C_e – content of methane and air in the gas reservoir, respectively, %;

P_0 – gas pressure in the manifold before the start of suction, mm Hg. Art.;

P_1 – gas pressure in the manifold after stopping the vacuum pump unit, mm Hg. Art.;

T – operating time of the vacuum installation, s.

The amount of methane entering the gas reservoir q_m is calculated based on the results of measurements on the gas pipeline. The amount of extracted gas mixture q_{cm} is determined by measurements during operation of the suction unit.

The values of q_m and q_e through the concentration of methane and air in the gas reservoir are related by the relation:

$$\frac{C_M}{C_e} = \frac{q_M}{q_B}. \quad (11)$$

From equality (8) it follows that air leaks into the gas manifold can be determined by the formula:

$$\frac{C_M}{C_e} = \frac{q_M}{q_B}. \quad (12)$$

During the suction of gas T into the collector, methane will be released in a volume of $q_m T$, air $q_e T$, and during the same time the gas mixture will be extracted in a volume of $q_{cm} T$.

Based on this, the amount of gas that influenced the change in gas pressure in the reservoir is calculated using the formula:

$$Q = (q_M + q_e - q_a) \cdot T. \quad (13)$$

When the suction unit stops, the gas pressure in the reservoir at the wellhead is calculated using the formula:

$$P_1 = P_0 - h, \quad (14)$$

where h is the vacuum at the wellhead, mm Hg. Art.

The flow rates of methane, air and gas mixture in formula (10) are reduced to normal conditions.

The possibility of using the established relationship (5) was verified based on the results of experimental research measurements on a section of the Kirovskaya mine field [6]. Due to the good gas production of degassing wells after the liquidation of part of the mine field along the A5 layer, the six remaining vertical wells (depth 450-509 m) with an average methane flow rate at a natural flow of 0.088 m^3/s are connected to a common gas pipeline to capture methane and use it in the boiler room of the mine.

The essence of the experiment was to measure the pressure (rarefaction) and gas flow rate in the gas pipeline at the wellhead with the vacuum pump station (VPS) turned off and running.

On the day of the experiment, at the beginning of turning on the VNS, the concentration of methane in the gas mixture was 34.0%. When creating a vacuum, the methane content in the gas mixture decreased to 32.0%. In just 5 hours and 30 minutes of work, the VNS was extracted 7194.0 m^3 gas mixture, with an average flow rate of 0.363 m^3/s . The results of measuring the parameters of the VNS operation are shown in Table 1.

Measurements showed that the pressure of the methane-air mixture in the gas reservoir (at the wellhead) before turning on the VNS was $P_0 = 740$ mm Hg. Art.

Taking into account the concentration values of methane and air, as well as the value of methane flow rate using formula (10), we obtain the value of air leaks into the collector:

$$q = \frac{0.088 \times 660}{34.0} = 1.7 \text{ m}^3/\text{s}. \quad (15)$$

Substituting into formula (11) the values of the amount of the sucked mixture, methane flow rate and air leaks, as well as

Operating parameters of the VPS at the Kirovskaya mine
«Кировская» шахтасындағы ВНС жұмыс параметрлері
Рабочие параметры ВНС на шахте «Кировская»

Table 1

Кесте 1

Таблица 1

Time, hour, min	Underpressure, mm. Hg Art.	Concentration methane, %	Quantity gas mixture, m^3/s	Quantity methane, m^3/s	Note
300	740	34	0.36	0.122	On VNS
400	743	33	0.361	0.12	
600	742	32	0.363	0.116	
830	725	31	0.365	0.113	Off VNS
1105	682	-	-	-	On VNS
1140	700	33.0	0.358	0.118	Off VNS

the operating time of the VNS, we obtain the amount of gas that influenced the change in gas pressure in the collector:

$$Q = (0.988 + 0.17 - 0.36) \times 1900 = 1516.2 \text{ m}^3. \quad (16)$$

Next, substituting the measured and calculated values of quantities (P0, P1 and Q) into formula (8), we find the volume of the gas reservoir:

$$V_K = \frac{740 \times 2079}{740 - 700} = 38,451.5 \text{ m}^3. \quad (17)$$

This volume of the gas mixture contains $(38462 \times 34/100) = 13076.9 \text{ m}^3$ of methane.

To confirm the reliability of the calculation formulas, a second experiment was carried out and the following values were established: $P_0 = 741 \text{ mm Hg. Art.}$, $P_1 = 699 \text{ mm Hg. Art.}$, $q_m = 0.085 \text{ m}^3/\text{s}$, $qb = 0.18 \text{ m}^3/\text{s}$, $q_{cm} = 0.382 \text{ m}^3/\text{s}$, $C_m = 31\%$, $T = 370 \text{ min}$.

Substituting these values into formulas (11) and (8), we obtain $V_K = 38493.5 \text{ m}^3$. A comparison of the results from the two experiments shows that the discrepancy between them is less than 1.0%, and therefore it can be assumed that the adopted method can be used to calculate the volume of the gas reservoir.

If it is impossible to connect the wells to a vacuum installation, you can use an autonomous compressor, with which air will be supplied to the gas reservoir. Then, instead of q_{cm} , the compressor performance is substituted into formula (11).

To solve the issue of managing gas emissions and extracting gas from exhausted sections of a mine for the purpose of its further use, it is necessary to have data on the concentration of methane. All these indicators depend on a number of factors, the main of which are the sources of methane release and the volume of voids and cracks in which methane can accumulate.

Below we will consider the issue of the formation of methane concentration in the mined-out space of the mined area and the dynamics of its change after the cessation of ventilation.

Repeated measurements of the methane content in the mined-out spaces of active longwalls in the mines of the Karaganda basin have established that the concentration can fluctuate over a wide range: from a few percent to 90-95%. The methane content mainly depends on two factors: on the volume of gases entering the goaf from various sources (remaining pillars of coal and unexcavated packs of the developed seam, under- and overmined satellite seams, gas-bearing rocks, etc.) and air leaks during ventilation Lav. The more gas enters the goaf and the less air leaks, the higher the methane content will be and vice versa. Moreover, it should be noted that the methane content in the goaf is not a constant value and, given the constancy of the above factors (gas release, air leaks), varies over the area of the goaf. Typically, a low methane content is observed at the boundary of the mined-out space with the lava and in the area where the main flow of air leaks occurs.

From the point of view of gas extraction, it is necessary to have information about the average methane content in the goaf. In accordance with [7], with a return-flow ventilation scheme, when air leaks through the goaf are minimal [8], the average methane content (C_m) is determined by the formula:

$$C_M = \lambda I_{B,n}, \quad (18)$$

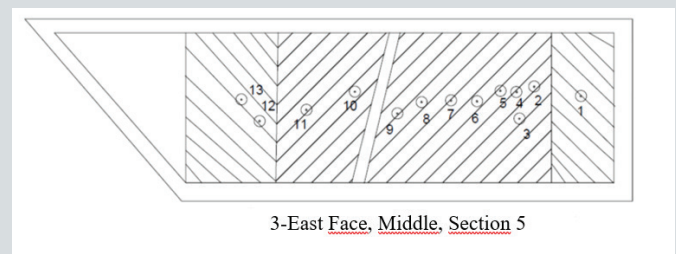
where $\tilde{\epsilon}$ is a coefficient characterizing the increase in methane concentration depending on the intensity of gas release, $\%C/\text{m}^3$. Based on experimental data $\tilde{\epsilon} = 140\%C/\text{m}^3$;

$I_{v,p}$ – the amount of methane released into the goaf, m^3/min .

Gas release into the mined-out space of active longwalls usually varies widely: from 0.03-0.05 to 0.66-0.83 m^3/s . The greatest significance of gas emission occurs in longwalls where undermining (overworking) of coal seams is carried out. Under these conditions, the methane content reaches 80-90%.

After the lavas stop, the intensity of gas release from the sources of methane decreases. But at this time, the ventilation of the lava stops, which creates favorable conditions for the accumulation of a gas mixture in the exhaust space with a high methane content.

As an example, this section provides information on the former Churubay-Nurinskaya mine, where in order to reduce the gas abundance of the 3rd eastern longwall of the middle sub-level of the K13 seam by capturing gas from the undermined satellite seams K₁₄, K₁₅, K₁₆, K₁₇ and the mined-out space with 13 vertical wells were drilled on the surface (Figure 2. 8).



1-13 – degassing wells

Figure 2. Layout of mine workings and degassing wells of the K₁₃ formation of the Churubay-Nurinskaya mine.
Сурет 2. Чүрубай-Нұрын шахтасының K₁₃ қабатының кен қазбалары мен дегазациялық ұңғымаларының орналасу жоспары.

Рис. 2. План горных выработок и дегазационных скважин пласта K₁₃ шахты Чурубай-Нуринская.

The total methane flow rate from the wells ranged from 4.9 (wells No. 1-3) to 1380.6 thousand m^3 , while the concentration of methane in the sucked mixture was in the range of 20-55%. During longwall mining (for 21 months) the indicated wells captured 7547.1 thousand m^3 of methane, i.e. on average it was 12,500 m^3/day . After the end of the longwall operation, gas capture from the wells was stopped, and their mouths were blocked with plugs. A year after mining the said longwall at a distance of 2-3 m from there, excavation of the 3rd eastern conveyor drift of the upper subfloor began. Since the excavation was carried out through a coal massif, which was drained due to the passage of a ventilation drift of the middle sublevel, the gas content of the 3rd eastern conveyor drift of the upper sublevel was relatively low and with a dead-end length of 300-380 m, as a rule, did not exceed 0.05-0.066 m^3/s , and the methane content in the outgoing ventilation stream was 0.5-0.8%. At the same time, it should be noted that in certain periods during mining, a sharp increase in gas emissions was

repeatedly observed, reaching 0.1-0.11 m³/s, and the concentration of methane in the air increased to 1.5-1.7%, which led to forced stoppages of excavation work.

Based on the observations, it was established that the source of increased gas emission was the mined-out space of the previously mined 3rd eastern face of the middle floor. In order to prevent increased gas release, it was decided to use vertical degassing wells to remove gas from the goaf to the day surface under natural flow. To do this, plugs were removed from each well and gas exhaust pipes («candles») of length 4 m. Of the 13 wells drilled, only 5 wells turned out to be suitable for reuse (No. 1, 2, 3, 5, 9), and the rest were pinched by settling rocks, and gas did not flow through them to the surface.

Based on measurements taken at the wells, it was established that the methane flow rate in individual wells ranged from 500-700 m³/day and in total amounted to about 3000 m³/day. The measurement results showed that the methane flow rate in wells (No. 1, 2, 3, 5) ranged from 83 to 448 m³/day. The total amount of methane coming through the wells to the surface was 840-980 m³/day. The methane content in the gas mixture arriving at the surface during natural outflow was relatively high: 80-92%.

The data presented show that within 1 year after the cessation of degassing and ventilation of the longwall, despite the fact that the methane content in the goaf increased by 2-5 times, and the methane flow rate decreased from 12,500 to 3,000 m³/day, i.e. 4 times.

Next, to analytically describe the dynamics of changes in the concentration of methane in the mined-out space over time, taking into account the entry of methane into it from various sources of gas release, we will determine the possible flow of methane from the mined-out spaces after the cessation of ventilation and mothballing of the mine.

To solve the problem, we will make the following assumption. Let's say that on the closed part of the mine field there are mined-out spaces of three mined longwalls with volumes of voids and cracks V_1, V_2, V_3 and the methane content in them is C_1, C_2, C_3 . The mine has main and preparatory workings, the volume of which is $V_{p.v.}$, and the average concentration in them is C_4 .

Thus, the total volume of voids, cracks and excavations can be written as the formula:

$$\sum V = V_1 + V_2 + V_3 + V_{n.B.} \quad (19)$$

The measurements carried out established that at the time of mine closure, the total gas release into the ventilated development workings, including gas release from mined-out spaces, was I_1 per unit time. Methane reserves located in mined-out longwall spaces and in main and development workings will be calculated using the following formulas:

$$I_1 = \frac{C_1 V_1}{100} \quad (20)$$

$$I_2 = \frac{C_2 V_2}{100} \quad (21)$$

$$I_3 = \frac{C_3 V_3}{100} \quad (22)$$

$$I_{n.B.} = \frac{C_4 V_{n.B.}}{100} \quad (23)$$

The total amount of methane, taking into account the additional gas supplied, is calculated using the formula:

$$\sum I = I_1 + I_2 + I_3 + I_{n.B.} + \sum I_i T \quad (24)$$

The weighted average concentration of methane in the goaf before its closure is calculated using the formula:

$$C_{cp} = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3 + C_4 V_{n.B.}}{\sum V} \quad (25)$$

Subsequently, the process of enrichment of the gas mixture located in the waste spaces will begin, and at any point in time the average methane content can be determined using formula (2.71):

$$C_{cp} = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3 + C_n V_n}{\sum V_i + \sum I_i T} \times 100, \quad (26)$$

where T is the time elapsed after the mine was closed.

Thus, in general terms, the average methane concentration for an unlimited number of mined-out spaces can be expressed by the formula:

$$C_{cp} = \frac{\sum \left(\frac{C_i V_i}{100} \right) + \sum (I_i T)}{\sum V_i + \sum (I_i T)} \times 100. \quad (27)$$

It should be borne in mind that the flow of methane into the goaf is not a constant value, but will decrease over time. Therefore, when calculating the value $\sum I_i T$ it is necessary to proceed from the average gas emission value.

The amount of gas that will be released through gas exhaust pipes (wells) is calculated using the formula:

$$I_{bp} = \frac{C_4 \sum E_i}{100} \quad (28)$$

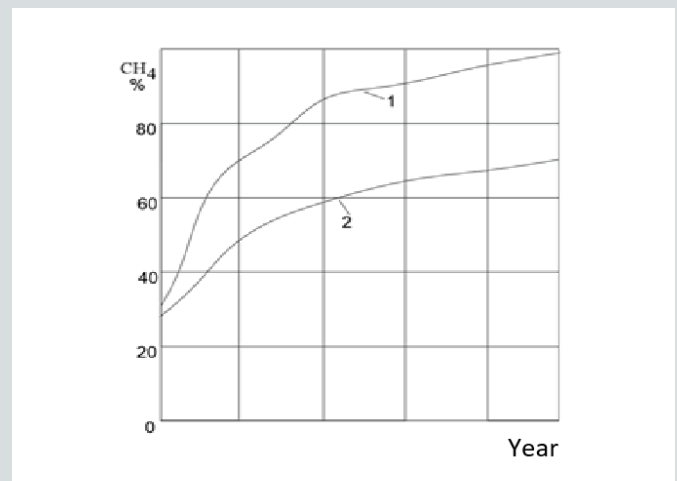


Figure 3. Change in methane content in goaf.
Сурет 3. Гофтегі метан мөлшерінің өзгеруі.
Рис. 3. Изменение содержания метана в выработанном пространстве.

$$1 - at_1 I_i = 0.167 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$2 - at_1 I_i = 0.016 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Thus, at the Shakhtinskaya mine, after the ventilation of the mine workings ceased, the methane content in them increased to 80-90%.

Acknowledgment

The research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan as part of program-targeted funding for the implementation of the scientific and scientific-technical program IRN No.BR24993009.

REFERENCES

1. Kudryashov V.F. Promyshlennaya bezopasnost' i ekologicheskii monitoring pri dobyche metana v shakhtakh. // Ugol'naya promyshlennost' Rossii. 2018. №7. S. 22-27 [Kudryashov V.F. Industrial safety and environmental monitoring in methane extraction in mines. // Coal Industry of Russia. 2018. №7. P. 22-27] (in Russian)
2. Zaitsev V.G. Metan v ugol'nykh shakhtakh: dobycha i utilizatsiya. / V.G. Zaitsev, V.M. Minaev. // Gornye nauki. 2020. №2. S. 34-40 [Zaitsev V.G. Methane in coal mines: extraction and utilization. / Zaitsev V.G., Minaev V.M. // Mining Sciences. 2020. №2. P. 34-40] (in Russian)
3. Trofimov V.A. Problemy i perspektivy degazatsii ugol'nykh shakht. // Bezopasnost' v ugol'noi promyshlennosti. 2019. №5. S. 18-22 [Trofimov V.A. Problems and prospects of degassing coal mines. // Safety in Coal Mining. 2019. №5. P. 18-22] (in Russian)
4. Belik V.N. Degazatsiya ugol'nykh shakht i gazifikatsiya metana. / V.N. Belik, V.G. Aronov. // Gornaya promyshlennost'. 2016. №4. S. 25-30 [Belik V.N., Aronov V.G. Degassing of coal mines and methane gasification. // Mining Industry. 2016. №4. P. 25-30] (in Russian)
5. Zolotykh S.S., Arnautov V.S., Surin E.V. Iz neдр kuzbasskikh kladovykh – goryuchii gaz metan. Gazprom dobycha Kuznetsk: Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2015, S. 247 [Zolotykh S.S., Arnautov V.S., Surin E.V. From the depths of Kuzbass storerooms – combustible gas methane. Gazprom Dobycha Kuznetsk: Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2015, P. 247] (in Russian)
6. Issledovanie i puti sovershenstvovaniya degazatsionnykh rabot dlya kompleksnogo razvitiya ugol'noi promyshlennosti: Monografiya. / N.A. Drizhd, R.K. Kamarov, M.S. Usenbekov, D.R. Akhmatnurov. Karaganda: Izdatel'stvo KarGTU, 2017, 242 s. [Research and ways to improve degassing operations for the integrated development of the coal industry: Monograph. / Drizhd N.A., Kamarov R.K., Usenbekov M.S., Akhmatnurov D.R. Karaganda: KarSTU Publishing House, 2017, 242 p.] (in Russian)
7. Zolotykh S.S., Arnautov V.S., Surin E.V. Iz neдр kuzbasskikh kladovykh – goryuchii gaz metan. Gazprom dobycha Kuznetsk: Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2015, S. 247 [Zolotykh S.S., Arnautov V.S., Surin E.V. From the depths of Kuzbass storerooms – combustible gas methane. Gazprom Dobycha Kuznetsk. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2015, P. 247] (in Russian)
8. Sun Y. CO₂-ECBM in coal nanostructure: modeling and simulation. / Sun Y., Yuan L., Zhao Y. // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2018. Vol. 54. P. 202-215 (in English)
9. Jia T. Micro-nanostructure of coal and adsorption-diffusion characteristics of methane. / Jia T., Liu C., Wei G. et al. // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2021. Vol. 21. Issue 1. P. 422-430 (in English)
10. Fu J.P. Rapid pyrolysis of pulverized coal for the preparation of nanostructured powder activated coke. / Fu J.P., Zhang Z., Zhou B.X. et al. // Materials Science Forum. 2019. Vol. 962. P. 63-69 (in English)
11. Hashemipour H. Direct and one-stage conversion of coal into carbon nanostructures with spherical, rod, tube, and plate geometry by chemical solid synthesis method. / Hashemipour H., Danafar F. et al. // Summer. 2020. Vol. 15. Issue 56. P. 179-194 (in English)
12. Reddy B.R. Preparation of carbon nanostructures from medium and high ash Indian coals via microwave-assisted pyrolysis. / Reddy B.R., Ashok I., Vinu R. // Advanced Powder Technology. 2020. Vol. 31. Issue 3. P. 1229-1240 (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Кудряшов В.Ф. Өнеркәсіптік қауіпсіздік және экологиялық мониторинг метан өндірісінде. // Ресейдің көмір өнеркәсібі. 2018. №7. Б. 22-27 (орыс тілінде)
2. Зайцев В.Г. Көмір шахталарындағы метан: өндіру және пайдалану. / Зайцев В.Г., Минаев В.М. // Геологиялық ғылымдар. 2020. № 2. Б. 34-40 (орыс тілінде)
3. Трофимов В.А. Көмір шахталарын дегазациялау проблемалары мен перспективалары. // Көмір өнеркәсібіндегі қауіпсіздік. 2019. №5. Б. 18-22 (орыс тілінде)
4. Белик В.Н. Көмір шахталарын дегазациялау және метанды газдандыру. / Белик В.Н., Аронов В.Г. // Көмір өнеркәсібі. 2016. №4. Б. 25-30 (орыс тілінде)
5. Золотых С.С., Арнаутв В.С., Сурин Е.В. Кузбасс қоймаларының тереңдігінен – жанғыш метан газ. Газпром добыча Кузнецк: Кемерово: Кузбассвузиздат, 2015, Б. 247 (орыс тілінде)

6. Дегазациялық жұмыстарды жетілдіру және көмір өнеркәсібінің кешенді дамуы: Монография. / Дрижд Н.А., Камаров Р.К., Усенбеков М.С., Ахматнуров Д.Р. Қарағанды: КарГТУ баспасы, 2017, 242 б. (орыс тілінде)
7. Золотых С.С., Арнаутов В.С., Сурин Е.В. Кузбасс қоймаларының тереңдігінен – жанғыш метан газ. Газпром добыча Кузнецк: Кемерово: Кузбассвуиздат, 2015, Б. 247 (орыс тілінде)
8. Sun Y. CO₂-ECBM көмірдің наноструктурасында: модельдеу және симуляция. / Sun Y., Yuan L., Zhao Y. // *Табиғи газдың ғылымы мен техникасы журналы*. 2018. Т. 54. Б. 202-215 (ағылшын тілінде)
9. Jia T. Көмірдің микро-наноструктурасы және метанның адсорбция-диффузиялық сипаттамалары. / Jia T., Liu S., Wei G. және т.б. // *Нанонаука және нанотехнологиялар журналы*. 2021. Т. 21. №1. Б. 422-430 (ағылшын тілінде)
10. Fu J.P. Көмір шаңының жылдам пиролизі арқылы наноструктураланған ұнтақты белсендірілген көмір алу. / Fu J.P., Zhang Z., Zhou V.X. және т.б. // *Ғылыми форум материалдары*. 2019. Т. 962. Б. 63-69 (ағылшын тілінде)
11. Hashemipour H. Көмірді химиялық синтез әдісімен сфера, таяқша, түтік және пластина геометриясындағы көміртек наноструктураларына тікелей және бірқадамды конверсиялау. / Hashemipour H., Danafar F. және т.б. // *Sumter*. 2020. Т. 15. №56. Б. 179-194 (ағылшын тілінде)
12. Reddy V.R. Үнді көмірлерінен микротолқынды пиролиз әдісімен көміртек наноструктураларын алу. / Reddy V.R., Ashok I., Vinu R. // *Алдыңғы қатарлы ұнтақты технология*. 2020. Т. 31. №3. Б. 1229-1240 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кудряшов В.Ф. Промышленная безопасность и экологический мониторинг при добыче метана в шахтах. // *Угольная промышленность России*. 2018. №7. С. 22-27 (на русском языке)
2. Зайцев В.Г. Метан в угольных шахтах: добыча и утилизация. / В.Г. Зайцев, В.М. Минаев. // *Горные науки*. 2020. №2. С. 34-40 (на русском языке)
3. Трофимов В.А. Проблемы и перспективы дегазации угольных шахт. // *Безопасность в угольной промышленности*. 2019. №5. С. 18-22 (на русском языке)
4. Белик В.Н. Дегазация угольных шахт и газификация метана. / В.Н. Белик, В.Г. Аронов. // *Горная промышленность*. 2016. №4. С. 25-30 (на русском языке)
5. Золотых С.С., Арнаутов В.С., Сурин Е.В. Из недр кузбасских кладовых – горючий газ метан. Газпром добыча Кузнецк: Кемерово: Кузбассвуиздат, 2015, С. 247 (на русском языке)
6. Исследование и пути совершенствования дегазационных работ для комплексного развития угольной промышленности: Монография. / Н.А. Дрижд, Р.К. Камаров, М.С. Усенбеков, Д.Р. Ахматнуров. Караганда: Издательство КарГТУ, 2017, 242 с. (на русском языке)
7. Золотых С.С., Арнаутов В.С., Сурин Е.В. Из недр кузбасских кладовых – горючий газ метан. Газпром добыча Кузнецк: Кемерово: Кузбассвуиздат, 2015, С. 247 (на русском языке)
8. Sun Y. CO₂-ECBM в наноструктуре угля: моделирование и симуляция. / Sun Y., Yuan L., Zhao Y. // *Журнал науки и техники природного газа*. 2018. Т. 54. С. 202-215 (на русском языке)
9. Jia T. Микро-наноструктура угля и адсорбционно-диффузионные характеристики метана. / Jia T., Liu S., Wei G. и др. // *Журнал нанонауки и нанотехнологий*. 2021. Т. 21. Вып. 1. С. 422-430 (на английском языке)
10. Fu J.P. Быстрая пиролиз угольной пыли для получения наноструктурированного порошкового активированного угля. / Fu J.P., Zhang Z., Zhou V.X. и др. // *Материалы научного форума*. 2019. Т. 962. С. 63-69 (на английском языке)
11. Hashemipour H. Прямая и одностадийная конверсия угля в углеродные наноструктуры с геометрией сфер, стержней, трубок и пластин методом химического синтеза. / Hashemipour H., Danafar F. и др. // *Sumter*. 2020. Т. 15. Вып. 56. С. 179-194 (на английском языке)
12. Reddy V.R. Получение углеродных наноструктур из индийских углей средней и высокой зольности с помощью микроволнового пиролиза. / Reddy V.R., Ashok I., Vinu R. // *Передовая порошковая технология*. 2020. Т. 31. Вып. 3. С. 1229-1240 (на английском языке)

Сведения об авторах:

Ахматнуров Д.Р., доктор PhD, руководитель лаборатории, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), d.akhmaturov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9485-3669>

Замалиев Н.М., доктор PhD, и.о. доцента, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), nailzamaliev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0628-2654>

Усенбеков М.С., кандидат технических наук, доцент, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), meirambek46@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-5369-8393>

Мусин Р.А., доктор PhD, и.о. доцента, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), r.a.mussin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1206-6889>

Information about the authors:

Akhmaturov D.R., PhD, Head of the laboratory, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Zamaliyev N.M., PhD, Acting Associate Professor, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Usenbekov M.S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Mussin R.A., PhD, Acting Associate Professor, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Авторлар туралы мәліметтер:

Ахматнуров Д.Р., PhD докторы, зертхана басшысы, Қарағанды техникалық Әбілқас Сағынов атындағы университет (Қарағанды қ., Қазақстан)

Замалиев Н.М., PhD докторы, доцент м. а., Қарағанды техникалық университеті Әбілқас Сағынов атындағы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Үсенбеков М.С., техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Қарағанды техникалық Әбілқас Сағынов атындағы университет (Қарағанды қ., Қазақстан)

Мусин Р.А., PhD докторы, доцент м. а., Қарағанды техникалық университеті Әбілқас Сағынов (Қарағанды қ., Қазақстан)

УФА 2024
ВКЭКСПО

12-14 НОЯБРЯ



РОССИЙСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

Международные
специализированные выставки

- МАШИНОСТРОЕНИЕ
- МЕТАЛЛООБРАБОТКА

www.prombvk.ru

+7 (347) 246-41-77, +7 (917)-354-45-05
promexpo@bvkeexpo.ru

prombvk
promexpoufa

Реклама.
000 «БВК» 0278179329

Организаторы:



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
ЭНЕРГЕТИКИ И ИННОВАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



АДМИНИСТРАЦИЯ
ГОРОДСКОГО ОКРУГА Г. УФА
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



Поддержка



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



РОССИЙСКАЯ
АССОЦИАЦИЯ
«СТАНКОИНСТРУМЕНТ»



СОЮЗ
МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



БРО ООО «СОЮЗ
МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ
РОССИИ»



Код МРНТИ 52.13.04

*Г. Мейрамбек, М.Б. Нүрпейісова, Қ.Б. Рысбеков, Д.М. Қырғызбаева
Сәтбаев университеті (Алматы қ., Қазақстан)

ЖЫЛАНДЫ КЕНІШІ САРЫОБА ҚАРЬЕРІНІҢ БЕТКЕЙЛЕРІН НЫҒАЙТУДЫҢ ТӘСІЛІ ЖӘНЕ ЕРТІНДІСІ

Андатпа. Бұл жұмыста қарьерлердің борттарын нығайтудың өзекті мәселесі қарастырылады. Қарьер борттарының тұрақтылығын қамтамасыз ету бойынша шетелдік және отандық зерттеулерге шолу ұсынылған. Тау-кен өнеркәсібіндегі қауіпсіздік көбінесе беткейлердің тұрақтылығына байланысты, бұл тиімді нығайту технологияларын әзірлеуді және енгізуді талап етеді. Арнайы ерітіндіні қолдануға негізделген борттарды нығайтудың өзіндік әдісі ұсынылады. Эксперименттік нәтижелер әртүрлі климаттық жағдайларда ерітіндінің жоғары тиімділігін көрсетеді, бұл оны басқа қарьерлер мен шахталарда кеңінен қолдануға кеңес береді. Бұл әдісте борттардың қауіпсіздігі мен тұрақтылығын арттыру үшін негіз бола алады, бұл сайып келгенде қарьерлерді табысты пайдалануға және өнімділікті арттыруға ықпал етеді.

Түйінді сөздер: қарьер, беткей, еңістер, жарықшақталған тау жыныстары, қарьер жағдауларының орнықтылығы, нығайту, тәсіл, ертінді, өндірістік және экологиялық қауіпсіздік.

Method and solution for strengthening the boards of the Saryoba quarry of the Zhilandi mine

Abstract. In this paper, the actual problem of strengthening the sides of quarries is considered. An overview of foreign and domestic studies on ensuring the stability of quarry sides is presented. Safety in the mining industry largely depends on the stability of slopes, which requires the development and implementation of effective reinforcement technologies. An original method of strengthening the sides is proposed, based on the use of a specialized solution. The experimental results demonstrate the high efficiency of the solution in various climatic conditions, which makes it possible to recommend it for wide use in other quarries and mines. This methodology can become the basis for improving the safety and stability of the boards, which ultimately contributes to the successful operation of quarries and increased productivity.

Key words: quarry, side, ledges, fractured rocks, side stability, strengthening, method, solution, industrial and environmental safety.

Способ и раствор для укрепления бортов карьера Сарыоба Жиландинского рудника

Аннотация. В данной работе рассматривается актуальная проблема укрепления бортов карьеров. Представлен обзор зарубежных и отечественных исследований по обеспечению устойчивости бортов карьеров. Безопасность в горнодобывающей отрасли во многом зависит от устойчивости откосов, что требует разработки и внедрения эффективных технологий укрепления. Предлагается оригинальный способ укрепления бортов, основывающийся на использовании специализированного раствора. Экспериментальные результаты демонстрируют высокую эффективность раствора в различных климатических условиях, что позволяет рекомендовать его к широкому применению в других карьерах и рудниках. Данная методология может стать основой для повышения безопасности и устойчивости бортов, что в конечном итоге способствует успешной эксплуатации карьеров и увеличению производительности.

Ключевые слова: карьер, борт, уступы, трещиноватые породы, устойчивость бортов, укрепление, способ, раствор, промышленная и экологическая безопасность.

Кіріспе

Тау-кен жұмыстарын жүргізу кезінде қарьер жағдауларының орнықтылығын қамтамасыз ету маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Қарьер жағдаулары беткейлерінің орнықтылығына әсер ететін факторларды ескеру үшін мыналарды білу қажет: бұзылу түрі, тау жыныстарының жарықшақтары, опырылу процесінің белсенділігі және т.б. Мұндай мәліметтерді тау жыныстары массивінің жай-күйіне мониторинг жүргізбей жинақтау мүмкін емес. Қарьер жағдайлары еңістерінің орнықтылығын қамтамасыз ету үшін – мониторинг ең сенімді негіз болып есептеледі.

XX-ғасырдың ортасында кенді ашық әдіспен өндіруге байланысты КСРО-да қарьерлік торнықтылықтың ғылыми мектебі қалыптасты, оның негізін салушылар В.В. Ржевский, Н.В. Мельников, Г.Л. Фисенко, А.Ж. Машанов, М.Е. Певзнер, В.Н. Попов, Р.П. Окатов, В.А. Гордеев, Ф.К. Низаметдинов және басқа да ғалымдар болды [1-5]. Сол кездері Одақтық маркшейдерлік ғылыми зерттеу институты (ВНИМИ), Мәскеу мемлекеттік университеті (ММУ), А. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ, Д.А. Қонаев атындағы Кен істері институты (ИГД) және т.б. тау-кен институттары мен жетекші университеттер жанынан бейіндік кафедралар мен зертханалар құрылды [6].

Ашық тау-кен жұмыстарының даму деңгейі қазіргі кезде күрделі тау-кен-геологиялық жағдайлары бар кен орындарын игерумен анықталады. Күрделі құрылымдық кен орындарының тау-кен игеру жұмыстары қарьерлердің тереңдігі мен олардың пайдалану ұзақтығының ұлғаюымен сипатталады. Осыған байланысты күрделі құрылымды кен орындарында қарьер еңістерінің орнықтылығын

басқару өте маңызды және өзекті ғылыми-практикалық мәселеге айналады. Орталық Қазақстандағы осындай кен орындарының бірі – құрамына Шығыс және Батыс Сарыоба, Қарашошақ, Қыпшақбай, Итауыз кен орындары кіретін Жыланды тобы.

Зерттеу әдістері

Зерттеу әдістемесі зертханалық және аналитикалық есептеулердегі зерттеулерді, бақылау нәтижелерін математикалық статистика және компьютерлік модельдеу әдістерімен өңдеуді, сонымен қатар кенішіндегі байыту қалдықтарын физикалық-химиялық зерттеулерді қамтиды.

Қарастырылып отырған «Шығыс Сарыоба» табиғи-техникалық жүйесі мыналардан тұрады: жерасты кеніші мен қарьері, қалдық қоймалары бар байыту фабрикасы және антиклиналдың бірыңғай қаппарлы жүйесіне кіретін барлық геологиялық ортасы бар тиісті инфрақұрылым [7].

Кен орнының өзіне тән ерекшелігі-оның тамырларын бірінші кезекте ашық түрде өңдеу, содан кейін жерасты әдістеріне көшу. Кен орнындағы тау жыныстарының жылжу процесінің мүмкіндігі пайдаланылған игеру жүйесі кезінде қазу кенді сатып алу, блоктар аралық целиктер мен төбелерді шығару арқылы жеке блоктарда жүргізілетіндігіне байланысты.

Қазіргі уақытта жер беті мен тау жыныстарының деформациясының сипаты мен шамасын анықтайтын негізгі факторлар массивтің беріктік қасиеттері мен құрылымдық ерекшеліктері, оның шиеленіскен күйі, жұмыс тереңдігі, игеру жүйелері, кен денелерінің өлшемдері мен құлау бұрыштары болып табылады. геомеханикалық процестердің дамуына әртүрлі факторлардың әсер ету дәрежесін зерт-

теуге айтарлықтай үлес пайдалы қазбалар кен орындары игеріліп жатқан әлемнің көптеген елдерінің ғалымдары кен орындарын игерудің аралас тәсілінің шарттарын енгізуде [8]. Жыланды тобы кен орындарында жүргізілген зерттеулер нәтижесінде жоғарыда айтылып кеткен әр кен орындарында геомеханикалық полигон құрудың жаңа тәсілі [9], сонымен қатар терең қабаттардағы тау жыныстарының кернеулі-деформациялық күйін болжаудың әдісі [10] жасақталып өндіріске енгізілді. Бірнеше кезең аспаптық бақылаулар жүргізіліп, карьер беткейлерінің жай-күйі зерттеліп, карьер жағдауларының айқындалған әлсіз учаскелердің беріктеу (нығайту) кезеңі туындады.

Шығыс Сарыоба кен орны тау жыныстарының жарықшақтылығы мен құрылымдық ерекшеліктерін зерттеу және карьер жағдауларының орнықтылығын басқару әдістерін әзірлеу жұмыстары жүргізілді.

Кен орны өте берік тау жыныстарнан түзілген және қатпарлану процестерінің нәтижесінде әртүрлі бағыттағы көптеген тектоникалық бұзылулар пайда болған. Осы бұзылулардың ішінде: үлкен тектоникалық бұзылыстар және ұсақ жарықшақтар да баршылық. Кен массиві әр түрлі жарықшақтарының қарқындылығы оларды ұзындығы метрмен немесе рейкамен табиғи түрде өлшеу арқылы анықталды (сурет 1).

Массивтегі тау жыныстарының әр түрлі беріктік сипаттамалары және олардың ауамен және сумен байланыста болған кезде күрт төмендеуі әртүрлі дәрежедегі жарықшақтары бар тау жыныстарының қасиеттерін басқарудың сараланған тәсілінің қажеттілігін анықтады.

Нәтижелер және оларды талқылау

Тау жыныстары жарықшақтарының бір бірінен ажырау ені 3 мм-ден аспайды және орташа есеппен 1,5-1,8 мм құрайды. Жарықшақталған тау жыныстарының сынамаларын зерттеу негізінде олардың әртүрлі дәрежеде бұзылғандары анықталды және карьерлер бейлерінің қанағаттанарлықсыз күйлері, тау жыныстарының опырылу-

ға (бұзылуға) бейімділігін көрсетті. Осыған орай, карьер беткейлерінің орнықтылығын арттыру бойынша кешенді әдістеме әзірлеуге, яғни беткей еңістерінің әлсіз учаскелерін беріктеу (нығайту) тәсілдері мен арнайы бүрікпертінді даярлауға жаңа көзқарас қажеттігі туындады.

Массивтегі тау жыныстарының әр түрлі беріктік сипаттамаларының ауамен және сумен байланыста болған кезде күрт төмендеуі, әртүрлі дәрежедегі жарықшақтары бар тау жыныстарының қасиеттерін басқарудың сараланған тәсілінің қажеттілігіне көз жеткізді.

Беріктеудің (нығайтудың) кең таралған әдістерінің бірі – әлсіреген тау жыныстарын цементтеу. Карьерлердегі тау жыныстарын цементтеу тік және көлбеу ұңғымалардың желдеткіштері бұрғыланатын кертпенің жоғарғы алаңынан басталады. Оларға цемент ерітіндісі массив толық қаныққанша жіберіледі. Цемент ерітіндісі цемент пен су негізінде дайындалады. Техникалық нәтиже – карьердің беткейлерін нығайту сенімділігін арттыру және тау-кен металлургия кешендері қалдықтарын пайдалана отырып, тау жыныстарының беткей еңістері арқылы сырғуына (жылжуына) жол бермеу.

Осыған байланысты Жыланды кеніші байыту фабрикасының қалдықтары зерттеліп, олардың негізгі физикалық-механикалық сипаттамалары анықталды. Алынған нәтижелерге сүйене отырып, біз құрамында толтырғыш, цемент және технологиялық суы бар, жарықшақталған тау жыныстарын нығайту тәсілі мен ерітіндісін ұсындық. Ерітіндінің құнын төмендету үшін толтырғыш ретінде байыту фабрикаларының қалдықтарын пайдалану ұсынылды. Олар, үлкен аумақтарды алып жатқан және қоршаған ортаны ластаушы, көп тонналық өндіріс қалдықтары болып табылады.

Бұл тәсілдің мәні мынандай: еңістің болашақ беткейіне параллель етіп көлбеу ұңғымалар бұрғыланады және оларды жару арқылы ұсақтау аймағын құру көзделінген; жарылған тау жыныстары массасын жинап, еңіс бетін беткейдің тазалағаннан кейін, ілмектері бар арматуралар бо-



Сурет 1. Шығыс Сарыоба карьеріндегі тау жыныстарының жарықшақтылығы.

Figure 1. Rock fracturing at the Eastern Saryoba quarry.

Рис. 1. Трещиноватость горных пород на карьере Восточная Сарыоба.

Маркшейдерское дело

лашақ беткейге жабысатындай етіп соғылады. Арматура ілмектеріне көлбеудің бүкіл бетін жауып тұратын тор бекіледі, содан кейін оған қатайтатын бүрікпобетонды (ерітінді) қабаты қолданылады. Сонымен қатар, нығайту ерітіндісі карьердің байыту фабрикасының (БФ) қалдықтары негізінде дайындалады және бұл әдісті қолданған кезде, еңістің әлсіз учаскесі сенімді түрде нығайтылады.

Ұсынылып отырған тәсіл 2-суретте (а – суреті пландағы жұмыс ауданы; б – карьер еңісін нығайту изометриясы) көрсетілгендей жүзеге асырылады.

Жарықшақталған тау жыныстарын бекту тәсілі ҚР патентімен расталды [11].

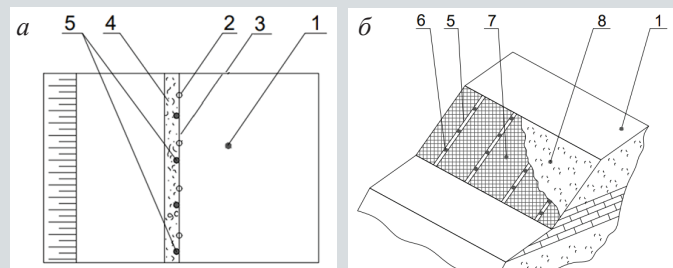
Жүргізілген зерттеулер негізінде, біз толтырғыш, цемент және технологиялық суы бар жарықшақталған тау жыныстарын нығайтуға арналған ерітінді ұсындық. Ерітіндінің құнын төмендету үшін толтырғыш ретінде, үлкен аумақты алып жатқан, көп тонналық байыту фабрикаларының қалдықтарын пайдалану ұсынылады. Ерітінді құрамында Neolit 400 қоспасы бар.

Neolit 400 суперпластификациялық құрғақтаушы қоспасын, ол Neolit компаниясы шығарады. Бұл қоспаның суды азайту қабілеті жоғары және жүйелердегі судың тұтқырлық қатынасын 20%-дан астам төмендетуге мүмкіндік береді. Су тұтқыр коэффициентін төмендетеді, ерітіндінің беріктігі мен тығыздығы жоғарылайды, сонымен бірге ерітінділердің беріктігі жоғарылаған кезде шөгуді мен жылжу деформациясы төмендейді.

Қоспа портландцементтермен жақсы үйлеседі, цемент – 37% дейін, байыту фабрикаларының қалдықтары – 52% дейін, Neolit 400 суперпластификаторы – 0,11-0,16, ал қалғаны су.

Көрсетілген компоненттердің қатынасы зертханалық жағдайда эксперименталды түрде алынды. Беріктікті табу үшін қоспадан 4x4x16 см үлгілер құйылады және 45 секунд дірілдетіліп тығыздалады, бір тәуліктен кейін қалыптардан алынады және 28 тәулік ылғалдылық жағдайында сақталады, содан кейін нәтижелері 1-кестеде көрсетілген физикалық-механикалық сынақтар жүргізіледі.

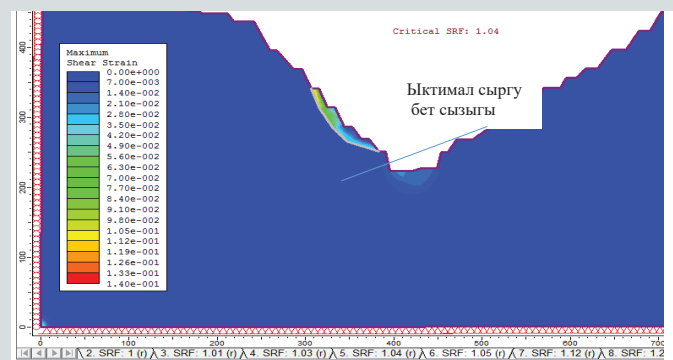
Деректерге сай, жоғарыда аталған ерітіндіні қолдану карьер беткейлерінің әлсіз жерлерін бектуді қамтамасыз етеді және байыту фабрикаларының қалдықтарының қоршаған ортаға зиянды әсерін едәуір азайтуға мүмкіндік береді. Жасалған ерітіндінің техникалық жаңалығы өнертабысқа ҚР патенттерімен расталды [12].



1 – карьер еңісінің жұмыс алағы; 2 – көлбеу ұңғымалар; 3 – еңіс беті; 4 – жарылыстан кейінгі бөліктегі тау жыныстар; 5 – арматуралар; б – ілмектер; 7 – металл тор; 8 – нығайтатын ерітінді қабаты

Сурет 2. а – жұмыс алағының планы; б – карьер еңісін бекту изометриясы.
Figure 2. а – plan of the working site; б – isometry of the quarry bench strengthening.

Рис. 2. а – план рабочей площадки; б – изометрия укрепления уступа карьера.



Сурет 3. Опырлу аймағындағы жарықшақтарды бекіту кезінде максималды ығысу деформациялары мен ықтимал жылжу аймағын бөлу.
Figure 3. The distribution of maximum shear deformations and the potential slip line when strengthening cracks in the collapse zone.

Рис. 3. Распределение максимальных деформаций сдвига и потенциальная линия скольжения при укреплении трещин в зоне обрушения.

Кесте 1

Ерітіндінің физикалық-механикалық қасиеттері

Table 1

Physico-mechanical properties of the solution

Таблица 1

Физико-механические свойства раствора

Сынақ мысалдары	Ерітіндінің құрамы, мас., %				Беріктік шегі, МПа		Конус шөгіндісі, мм
	цемент	БФ қалдықтары	Неолит 400	су	сығылу	иілу	
1	32	52	0,16	15,9	32,4	4,3	150
2	33,4	49,3	0,13	16,3	35,7	5,1	145
3	37	47	0,11	16,9	36,9	5,7	142

Зерттеу деректері жарықшақталған тау жыныстары массивін нығайтуға арналған ерітіндінің ұсынылған құрамы келесі арақатынаста, масса, %: 32-37 цемент, 47-52 байыту фабрикаларының қалдықтары, Neolit 400 суперпластификаторы – 0,11-0,16, қалғаны – су болатындығы расталды.

Карьер беткейлерінің жарықшақталып бұзылған (әлсіреген) аймақтарыны нығайтудың нәтижесі орнықтылық қорының коэффициентін 1,04 мәніне дейін арттыру болып табылады (3-сурет).

Зерттеу нәтижесі бойынша потенциалды түрде сырғу аймағы жарықшақтың жоғарылау аймағында орналасқан, дегенмен жарықшақтарды орынын толтыру тау жыныстарының адгезиясын арттырады және деформацияларды тұрақтандырады.

Қорытынды

Жалпы айталық, тектоникалық бұзылулармен шектелген тау жыныстары массивінде жарықшақтар аймағының болуы, карьер беткейі учаскелерінің орнықсыз күйін

тудырады. Карьер беткейлерінің орнықтылық қорының коэффициенті жобалық деңгейден (1,3) төмен ғана емес, сонымен қатар 0,92 құрайтын шекті тепе-теңдік деңгейінен (1,0) төмендейді. Сонымен қатар, байыту фабрикасы қалдықтарына негізделген қатайтатын бүрікпе ертинлини жарықшақтарды толтыруға және тау жыныстарының блоктық құрылымындағы адгезияны арттыруға мүмкіндік береді, бұл тау жыныстарының кернеу өрісінің сырғу компоненттеріне қарсы тұру қабілетін арттырады.

Алынған нәтижелер кенорындардағы өндірістік қауіпсіздік деңгейін арттыру және жер қойнауын игеруден туындаған экологиялық тәуекелдерді азайту үшін пайдаланылады.

Зерттеу ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылай қолдауымен орындалды (АР 23489269 «Өнеркәсіптік сенімділікті қамтамасыз ету үшін жер қойнауын игеру кезінде тау жыныстары массивінің геологиялық-құрылымдық ортасының геодинамикалық жай-күйін геотехникалық мониторингтеу»).

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. John V. Simmons. Көмір шахталарындағы геотехникалық тәуекелдерді басқару. // Австралиялық геомеханика орталығының ақпараттық бюллетені. 2014. №22. Б. 1-4 (ағылшын тілінде)
2. Фисенко Г.Л. Карьерлер мен үйінділер жақтарының тұрақтылығы: М.: Недра, 1965, Б. 378 (орыс тілінде)
3. Тау массасының кернеулі-деформациялық күйін зерттеу үшін терең эталондарды қолдану бойынша әдістемелік нұсқаулар. / – Л.: ВНИМИ, 1983 (орыс тілінде)
4. Попов И.И., Низаметдинов Ф.К., Окатов Р.П. Карьерлердің орындықтары мен қырларының тұрақтылығын басқарудың табиғи және техногендік негіздері: Алматы, Ғылым, 1997, Б. 215 (орыс тілінде)
5. Иофис М.А. Бастапқы алмаз кен орындарын біріктіріп игеру кезінде тау жыныстарының ығысуы туралы. / М.А. Иофис, И.А. Мальцева. // GIAB. 2017. №1. Б. 13-21 (орыс тілінде)
6. Kassymkanova Kh. Орталық Қазақстанның тау сілемдеріндегі геомеханикалық процестер және оларды бағалау. // SpringerBriefs in Geosciences (электрондық кітап). 2020 (ағылшын тілінде)
7. Nurpeisova M.B. Жер қойнауын кең көлемде игеру кезінде геологиялық ортаның геодинамикалық режимінің өзгеруінің болжамы. / Nurpeisova M.B., Bitimbayev M.Zh., Rysbekov K.B., Bekbasarov Sh.Sh. // Ұлттық қалалық университетінің ғылыми хабаршысы. 2021. №6. Б. 5-10 (ағылшын тілінде)
8. Baibatsha A.B. Қарсақпай-Ұлытау геосютура аймағының геологиясы мен геодинамикасы және оның пайдалы қазбалар болашағы. / Baibatsha A.B., Mamanov E.Zh. // ҚР ҒА жаңалықтары. Геология және инженерия ғылыми сериясы. 2017. Т. 1. № 421. 46-62 беттер (ағылшын тілінде)
9. А.к.қ. №20302. Геодинамикалық көпбұрышты құрудың жаңа тәсілі. / Г.М. Қырғызбаева, М.Б. Нұрпейісова, М.Д. Исагазы, Т.А.Тұрымбетов, Д.С. Мұханбеткәрім; 2021 жылғы 17 қыркүйек (орыс тілінде)
10. Қазақстан Республикасының 2022 жылғы 14 қазандағы №35898 өнертабысқа патенті. Тау жыныстарының кернеулі-деформациялық күйін болжаудың сейсмоакустикалық әдісі. / М.Б. Нұрпейісова, М.Ж. Бітімбаев, Ш.Ш. Бекбасаров, Қ.Б. Рысбеков, Г.М. Қырғызбаева (орыс тілінде)
11. Қазақстан Республикасының өнертабысқа патенті 02.06.2023 ж. №36246. Карьердің еңісін нығайту әдісі. / А.А. Бек, Н.С. Дөненбаева, М.Б. Нұрпейісова, Ш.Айтқазынова (орыс тілінде)
12. Қазақстан Республикасының өнертабысқа патенті 08.09.2023 ж. №8408. Стационарлық карьер еңістерін нығайту әдісі. / М.Б. Нұрпейісова, Х.М. Қасымқанова, Г.М. Қырғызбаева, С.Т. Солтабаева, Б.Б. Амралинова, В.Г. Лозинский (орыс тілінде)

REFERENCES

1. John V. Simmons Geotechnical risk management in open pit coal mines. // Australian Center for Geomechanics Newsletter. 2014. №22. P.1-4 (in English)
2. Fisenko G.L. Ustoichivost' bortov kar'ero'v i otvalov: M.: Nedra, 1965, S. 378 [Fisenko G.L. Stability of the sides of quarries and dumps: M.: Nedra, 1965, P. 378] (in Russian)
3. Metodicheskie ukazaniya po primeneniyu glubinnnykh reperov dlya izucheniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva gornyykh porod. / – L.: VNIMI, 1983 [Guidelines for the use of deep benchmarks to study the stress-strain state of a rock mass. / – L.: VNIMI, 1983] (in Russian)

4. Popov I.I., Nizametdinov F.K., Okatov R.P. Prirodnye i tekhnogennye osnovy upravleniya ustoichivost'yu ustupov i bortov kar'erov: Almaty, Nauka, 1997, S. 215 [Popov I.I., Nizametdinov F.K., Okatov R.P. Natural and technogenic bases for managing the stability of benches and sides of quarries: Almaty, Gylym, 1997, P. 215] (in Russian)
5. Iofis M.A. O sdvizhenii gornykh porod pri kombinirovannoi razrabotke korennykh mestorozhdenii almazov. / M.A. Iofis, I.A. Mal'tseva. // GIAB. 2017. №1. S. 13-21 [Iofis M.A. On the displacement of rocks during the combined development of primary diamond deposits. / M.A. Iofis, I.A. Maltseva. // GIAB. 2017. №1. P. 13-21] (in Russian)
6. Kassymkanova Kh. Geomechanical processes and their assessment in the rock massifs in central Kazakhstan. // SpringerBriefs in Earth Sciences (eBook). 2020 (in English)
7. Nurpeisova M.B. Forecast of changes in the geodynamic regime of the geological environment during large-scale development of subsoil. / Nurpeisova M.B., Bitimbayev M.Zh., Rysbekov K.B., Bekbasarov Sh.Sh. // Scientific Bulletin of the National City University. 2021. №6. P. 5-10 (in English)
8. Baibatsha A.B. Geology and geodynamics of Karsakpay-Ulytau geosuture zone and its prospects for minerals. / Baibatsha A.B., Mamanov E.Zh. // News of the academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2017. Vol. 1. №421. P. 46-62 (in English)
9. A.s. №20302. Novyi podkhod k sozdaniyu geodinamicheskogo poligona. / G.M. Kyrgyzbaeva, M.B. Nurpeisova, M.D. Isagazy, T.A. Turumbetov, D.S. Muxhanbetkarim; 17 sentyabrya 2021 g. [Copyright certificate №20302. A new approach to creating a geodynamic polygon. / G.M. Kyrgyzbaeva, M.B. Nurpeisova, M.D. Isagazy, T.A. Turumbetov, D.S. Muhanbetkarim; September 17, 2021] (in Russian)
10. Patent na izobreteniye RK №35898 ot 14.10.2022 g. Seismoakusticheskii sposob prognozirovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva gornykh porod. / M.B. Nurpeisova, M.Zh. Bitimbaev, Sh.Sh. Bekbasarov, K.B. Rysbekov, G.M. Kyrgyzbaeva [Patent for invention of the Republic of Kazakhstan No. 35898 dated October 14, 2022. Seismoacoustic method for predicting the stress-strain state of a rock mass. / M.B. Nurpeisova, M.Zh. Bitimbaev, Sh.Sh. Bekbasarov, K.B. Rysbekov, G.M. Kyrgyzbaeva] (in Russian)
11. Patent na izobreteniye RK №36246 ot 02.06.2023 g. Sposob ukrepleniya otkosa kar'era. / A.A. Bek, N.S. Donenbaeva, M.B. Nurpeisova, Sh. K. Aitkazinova [Patent for invention of the Republic of Kazakhstan No. 36246 dated 06/02/2023. Method for strengthening a quarry slope. / A.A. Beck, N.S. Donenbaeva, M.B. Nurpeisova, Sh. K. Aitkazinova] (in Russian)
12. Patent na izobreteniye RK №8408 ot 08.09.2023 g. Sposob ukrepleniya statsionarnykh kar'ernykh otkosov. / M.B. Nurpeisova, Kh.M. Kasymkanova, G.M. Kyrgyzbaeva, S.T. Soltabaeva, B.B. Amralinova, V.G. Lozinskii [Patent for invention of the Republic of Kazakhstan No. 8408 dated 09/08/2023. Method for strengthening stationary quarry slopes. / M.B. Nurpeisova, Kh.M. Kasymkanova, G.M. Kyrgyzbaeva, S.T. Soltabaeva, B.B. Amralinova, V.G. Lozinsky] (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. John V. Simmons. Управление геотехническими рисками на угольных шахтах. // Информационный бюллетень Австралийского центра геомеханики. 2014. №22. С. 1-4 (на английском языке)
2. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов: М.: Недра, 1965, С. 378 (на русском языке)
3. Методические указания по применению глубинных реперов для изучения напряженно-деформированного состояния массива горных пород. / – Л.: ВНИМИ, 1983 (на русском языке)
4. Попов И.И., Низаметдинов Ф.К., Окатов Р.П. Природные и техногенные основы управления устойчивостью уступов и бортов карьеров: Алматы, Наука, 1997, С. 215 (на русском языке)
5. Иофис М.А. О сдвигении горных пород при комбинированной разработке коренных месторождений алмазов. / М.А. Иофис, И.А. Мальцева. // ГИАБ. 2017. №1. С. 13-21 (на русском языке)
6. Kassymkanova Kh. Геомеханические процессы и их оценка в горных массивах Центрального Казахстана. // SpringerBriefs по наукам о Земле (eBook). 2020 (на английском языке)
7. Nurpeisova M.B. Прогноз изменения геодинамического режима геологической среды при масштабном освоении недр. / Nurpeisova M.B., Bitimbayev M.Zh., Rysbekov K.B., Bekbasarov Sh.Sh. // Научный вестник Национального городского университета. 2021. №6. С. 5-10 (на английском языке)
8. Baibatsha A.B. Геология и геодинамика Карсакпай-Улытауской геосутурной зоны и ее перспективы на полезные ископаемые. / Baibatsha A.B., Mamanov E.Zh. // Новости Академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. 2017. Т. 1. №421. С. 46-62 (на английском языке)
9. A.s. №20302. Новый подход к созданию геодинамического полигона. / Г.М. Кыргызбаева, М.Б. Нурпеисова, М.Д. Исагазы, Т.А. Турумбетов, Д.С. Муханбеткарим; 17 сентября 2021 г. (на русском языке)
10. Патент на изобретение РК №35898 от 14.10.2022 г. Сейсмоакустический способ прогнозирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород. / М.Б. Нурпеисова, М.Ж. Битимбаев, Ш.Ш. Бекбасаров, К.Б. Рысбеков, Г.М. Кыргызбаева (на русском языке)

11. Патент на изобретение РК №36246 от 02.06.2023 г. Способ укрепления откоса карьера. / А.А. Бек, Н.С. Доненбаева, М.Б. Нурпейсова, Ш. К. Айтказинова (на русском языке)
12. Патент на изобретение РК №8408 от 08.09.2023 г. Способ укрепления стационарных карьерных откосов. / М.Б. Нурпейсова, Х.М. Касымканова, Г.М. Кыргызбаева, С.Т. Солтабаева, Б.Б. Амралинова, В.Г. Лозинский (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Мейрамбек Г., техника ғылымдарының кандидаты, қауым. профессор, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), g.kyrgyzbaeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-4869-0587>

Нұрпейісова М.Б., техника ғылымдарының докторы, профессор, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), m.nurpeissova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-3956-5442>

Рысбеков Қ.Б., техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Ө.А. Байқоңыров атындағы тау-кен-металлургия институтының директоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), K.Rysbekov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-3959-550X>

Қырғызбаева Д.М., PhD докторы, қауым. профессор, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), d.kyrgyzbaeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-8869-5497>

Information about the authors:

Meirambek G., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Nurpeisova M.B., Doctor of Technical Sciences, Professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Rysbekov K.B., Candidate of Technical Sciences, Professor, Director of the O.A. Baikonurov Mining and Metallurgical Institute, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Kyrgyzbaeva D.M., PhD, Associate Professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Мейрамбек Г., кандидат технических наук, ассоц.профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

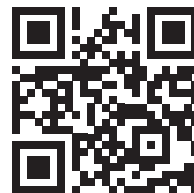
Нурпейсова М.Б., доктор технических наук, профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Рысбеков К.Б., кандидат технических наук, профессор, директор горно-металлургического института им. О.А. Байқоңурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Кыргызбаева Д.М., доктор PhD, ассоц.профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)



VOSTOCK CAPITAL
— 22 года динамичного успеха



19-20 ноября 2024, Москва

Генеральный спонсор:



Золотой спонсор:



Бронзовый спонсор:



Партнер в сфере инженерных инноваций



Логистический партнер:



2 дня делового общения

200+ участников

30+ инвестиционных проектов

30+ докладов

КЛЮЧЕВЫЕ МОМЕНТЫ ФОРУМА:

- **Инвестиции:** запуск добычи, строительство и модернизация металлургических предприятий.
- **НОВОЕ!** Цифровизация и автоматизация всех этапов.
- **Актуально!** Круглый стол по эффективности: от разработки до переработки.
- **Импортозамещение, новые поставщики и рынки.**
- **НОВОЕ!** Круглый стол: устойчивое развитие, экономический рост, социальная ответственность, экологический баланс.
- **Современные технологии и решения** для добычи и модернизации металлургии.



Код МРНТИ 52.13.04

Б. Хусан, *С.А. Мустафин, Г.Б. Ескенова, Ж.М. Асанова

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КАРЬЕРА ПРИ ВЕДЕНИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Аннотация. Рассмотрены вопросы о влиянии буровзрывных работ на устойчивость бортов карьера, на прочность и структуру прибортовых массивов. Приведен пошаговый порядок оценки и камеральной обработки данных при оптической съемке скважин. Представлена методика определения систем трещин в массиве горных пород, основанная на съемке бортов карьера геологическим компасом. Предложен способ геотехнической оценки состояния массива с использованием программ Dips и SWedge и их систематизация в геомеханической блочной модели. Интеграция факторов ослабления прочности прибортового массива в геомеханическую блочную модель позволит корректно проектировать буровзрывные блоки. Предлагаемый подход для определения параметров залегания трещин рекомендуется использовать при проектировании буровзрывных блоков с целью минимизации рисков обрушения бортов карьера.

Ключевые слова: видеоэндоскоп, оптическая съемка скважин, трещиноватость массива, программы Dips и SWedge.

Бұрғылап – жару жұмыстарын жүргізу кезінде карьер жағдауларының тұрақтылығына әсер ететін факторларды анықтау әдістемесі

Аннотация. Бұрғылау-жару жұмыстарының карьер жағдауларының тұрақтылығына, жағдау манайлық сілемнің құрылымы мен беріктігіне әсері туралы мәселелер қарастырылды. Ұңғымаларды оптикалық түсіру кезінде деректерді талдау және камералдық өңдеу тәртібі келтірілген. Карьер жағдауларын геологиялық компаспен түсіру негізінде тау жыныстары массивіндегі жарықтар жүйесін анықтау әдістемесі ұсынылған. Dips және SWedge бағдарламаларын қолдана отырып, массивтің күйін геотехникалық бағалау және оларды геомеханикалық блоктық модельде жүйелеу әдісі ұсынылған. Жағдау манайлық сілемнің беріктігін әлсірететін факторларды геомеханикалық блоктық модельде біріктіру, бұрғылау-жару блоктарын дұрыс жобалауға мүмкіндік береді. Карьер жағдауларының құлау қаупін азайту мақсатында, жарықтардың пайда болу параметрлерін анықтауға арналған тәсілді бұрғылау-жару блоктарын жобалау кезінде қолдану ұсынылды.

Түйінді сөздер: бейнеэндоскоп, ұңғымаларды оптикалық түсіру, тау жыныстарының жарықшақтығы, Dips және SWedge бағдарламалары.

The methodology for determining the influencing factors on the stability of the sides of the quarry in the conduct of drilling and blasting

Abstract. The article considers the impact of drilling and blasting operations on the stability of quarry walls, on the strength and structure of the rock massifs. A step-by-step procedure for analyzing and office processing of data during optical survey of boreholes is given. A method for determining crack systems in a rock massif is presented, based on surveying quarry walls with a geological compass. A method for geotechnical assessment of the massif condition using the Dips and SWedge programs and their systematization in a geomechanical block model is proposed. Integration of the factors of weakening the strength of the instrument array into the geomechanical block model will allow the correct design of drilling and blasting blocks. The proposed approach for determining the crack location parameters is recommended for use in designing drilling and blasting units in order to minimize the risks of quarry wall collapse.

Key words: video endoscope, optical survey of wells, fracturing of the array, Dips and SWedge programs.

Введение

В настоящее время на крупных месторождениях, разрабатываемых открытым способом, одной из основных задач горного производства является обеспечение устойчивости бортов и уступа карьера. Устойчивость бортов карьера оценивается как исходными горно-геологическими условиями среды и параметрами буровзрывных работ, так и сейсмическим воздействием взрыва, которые необходимо учитывать через параметры их влияния. При этом, увеличение угла откоса бортов карьера ведет к снижению объемов вскрыши и повышает экономическую эффективность разработки месторождения. Однако при этом повышается риск обрушения бортов и уступов в карьере в результате геодинамических явлений, связанных с горным давлением и влиянием от взрывных работ. Вместе с тем, неизученные влияния процессов буровзрывных работ вблизи откоса может вызвать нарушение их устойчивости и привести к катастрофическим оползневым явлениям.

Современное горнодобывающее производство требует углубленного изучения и постоянного контроля за происходящими в прибортовых массивах геомеханическими процессами в период строительства и эксплуатации карьеров.

Система трещин оказывает самое непосредственное влияние на устойчивость прибортового массива, являясь одной из возможных поверхностей ослабления, что в конечном счете напрямую влияет на безопасность ведения горных работ. Практика показывает, что влияние систем

трещин на устойчивость уступов и бортов карьера исследовано не в полной мере, поэтому необходимо установить степень влияния систем трещин при ее различном пространственном расположении, на предельные параметры устойчивости прибортового массива и разработать метод оценки степени влияния систем трещин в качестве поверхности ослабления.

Вместе с тем, технологией БВР не только производится дробление горных пород, но и оформляется конечный контур карьера. В результате ведения буровзрывных работ в непосредственной близости предельного контура, от сейсмического влияния и волновых процессов, вызванных взрывом, деформируется откос уступа, в законтурном массиве появляются различного характера трещины, тем самым ослабляющие прочность прибортового массива. На многих горнодобывающих предприятиях взрывы, производимые вблизи предельного контура карьера, продолжают проектироваться по общепринятым параметрам размещения и заряжания скважин, характерных для всех участков карьера без разделения на рабочий и приконтурный блоки. При этом без внимания остается негативная сторона взрыва, выраженная в чрезмерном и неконтролируемом воздействии энергии, которая способствует образованию новых трещин и раскрытию существующих в законтурном массиве.

В будущем оформленный таким образом конечный борт в целом под воздействием очередных порций толчков еженедельных массовых взрывов начинает осыпаться,

изменять свои проектные очертания, понижая тем самым уровень безопасности горных работ.

Для корректного проектирования буровзрывных блоков требуется аналитический подход всех влияющих факторов на устойчивость прибортового массива. Создание геомеханической модели месторождения с учетом геологических свойств пород и корректировкой их по мере продвижения горных работ образует более точный выбор параметров буровзрывных блоков.

Методика исследований

Исследования проводились на карьере месторождения Коктасжал. В условиях карьера Коктасжал борта в основном сложены скальными породами, и частично слабыми, выветрелыми (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид карьера на месторождении Коктасжал.

Сурет 1. Көктасжал кен орнындағы карьердің жалпы көрінісі.

Figure 1. General view of the open-pit Koktaszhal.

Главной задачей является оценка состояния трещиноватости массива горных пород на основе оптической съемки скважин и замера естественных трещин на откосах уступов.

Задачи, которые решались при проведении исследования и камеральной обработке данных:

- оценка состояния массив горных пород;
- идентификация образования трещин в массиве;
- определение обводненности скважин;
- определение системности и ориентации трещин в пространстве с помощью геологического компаса и программы *Dips Rocscience*;
- оценка потенциальных призм обрушения в программе *SWedge*;
- районирование карьера по признакам трещиноватости, прочности и потенциальных участков обрушения.

Оценка состояния трещиноватости, обводненности скважин была проведена с помощью инспекционного видеоэндоскопа SYANSPAN, представляющего собой переносной гибкий эндоскоп, оснащенный видеомонитором. Видеоэндоскоп осуществляет вывод на экран монитора изображения обследуемой области скважины и запись процесса съемки на носитель. Прибор состоит из чемодана с аккумулятором (блок питания), пульта управления, камеры с переходником и зонда длиной 50 м. Перед началом работ следу-

ет провести тщательный визуальный осмотр устья скважин на наличие водопритоков и зашламованности.

Процесс съемки обычно осуществляется с постоянной скоростью. Однако, в местах, где наблюдаются нарушения массива или трещиноватость, скорость съемки снижается. Это необходимо для того, чтобы получить более детальные и точные данные о структуре и характере этих особенностей. Понижение скорости съемки позволяет зафиксировать большое количество информации о геологическом строении в зонах с неоднородным составом. Это особенно важно при изучении трещин, так как их ориентация в пространстве играет ключевую роль в определении распространения деформаций и потенциальных геологических рисков. В некоторых случаях, при сложных условиях, может потребоваться повторная съемка для достижения максимально качественного результата. Такая необходимость возникает, например, при выявлении скрытых геологических структур или при невозможности получить достаточное количество данных с первого раза. При увеличении водопритока фиксируется местоположение участка, откуда он поступает. В случае выявления непроходимых завалов в скважине съемка приостанавливается, и зонд извлекается. Таким образом процесс съемки с первого взгляда простой, но на самом деле является многоэтапным и требует тщательного планирования, чтобы получить качественную информацию о геологическом строении и обеспечить безопасность и эффективность ведения горных работ.

Для определения элементов залегания систем трещин был применен геологический компас GeoID на базе мобильной операционной системы IOS.

Результаты

С помощью видеоинспекционного эндоскопа проведена оптическая съемка скважин блока №620-007 (рис. 2). При проведении исследований было обследовано 348 скважин



Рис. 2. Процесс исследования внутрискважинных трещин с помощью видеоинспекционного эндоскопа.
Сурет 2. Бейне инспекциялық эндоскоптың көмегімен ұңғымалық жарықтарды зерттеу процесі.

Figure 2. The process of examining hole cracks using a video inspection endoscope.

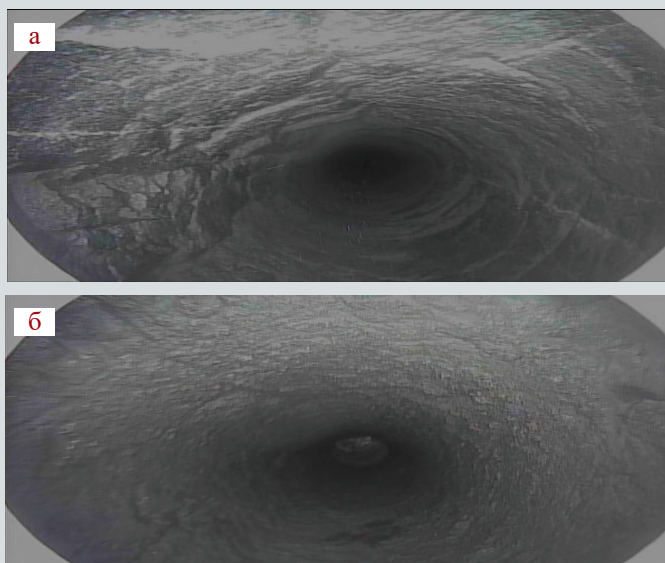


Рис. 3. Снимок скважины №340: а – верхняя часть, б – нижняя часть.
Сурет 3. №340 ұңғыманың кескіні: а – жоғарғы бөлігі, б – төменгі бөлігі.
Figure 3. Well shot №340: a – upper part, b – lower part.



Рис. 4. Схема блока №620-007 к уточнению границ.
Сурет 4. Шекараларды нақтылауға арналған №620-007 блогының схемасы.
Figure 4. Block diagram №620-007 to clarify boundaries.

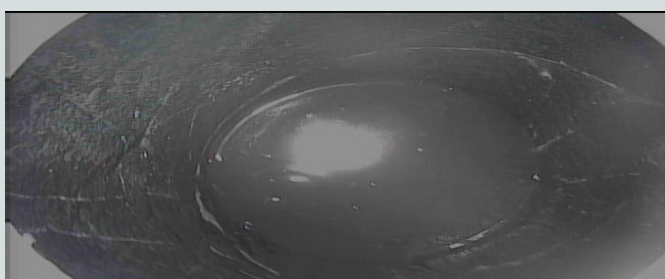


Рис. 5. Снимок скважины №116.
Сурет 5. №116 ұңғыманың кескіні.
Figure 5. Well shot №116.

диаметром 152 мм суммарной длиной около 3,7 км. В случае проведения подобных работ, следует проводить оптическую съемку скважин сразу после их бурения, так как через некоторый период времени из-за воздействия напряжений, воды и других негативных факторов стенки скважин могут разрушиться и создать непроходимые завалы.

По итогам исследования, в обуренном блоке обнаружены разрушенные и обводненные скважины, проведена оценка трещин. На примере скважины №340, обнаружены трещины в верхней части скважины до глубины 5-7 метров (рис. 3 а), в нижней части крупные трещины отсутствуют (рис. 3 б). Фактическая глубина скважины совпадает с проектной и составляет 9,7 м, скважина сухая. Закономерность сохраняется почти во всех скважинах блока. По всей видимости образование трещин таким образом зависит от влияния взрыва верхлежущего блока.

На центральную часть блока влияние волновых процессов взрыва от верхлежущего блока было значительно выше, чем на другие области. Следовательно, все скважины в центре блока полностью обводнены и разрушены (рис. 4). Обозначенные в контуре скважины взаимосвязаны между собой трещинами, через которые проникает вода от одной скважины в другую (рис. 5).

В следующем этапе был проведен визуальный осмотр бортов карьера, выявлены зоны возможного проявления деформаций бортов (рис. 6). Вместе с тем, выполнены замеры залегания естественных трещин.

При оценке устойчивости бортов карьера важно учитывать влияние системы трещин, поскольку они ослабляют прочность массива горных пород и могут привести к обрушению. Для эффективной оценки роли трещиноватости в устойчивости бортов карьера применяется подход, основанный на выделении ключевой системы поверхностей ослабления. Определение основной системы поверхности ослабления требует поэтапной работы в нескольких программах. Прежде всего требуется определить пространственное расположение систем трещин в массивах.



Рис. 6. Вид на деформированный откос уступа.
Сурет 6. Кемер қиябетінің деформацияланған көрінісі.
Figure 6. View of the deformed slope of the ledge.

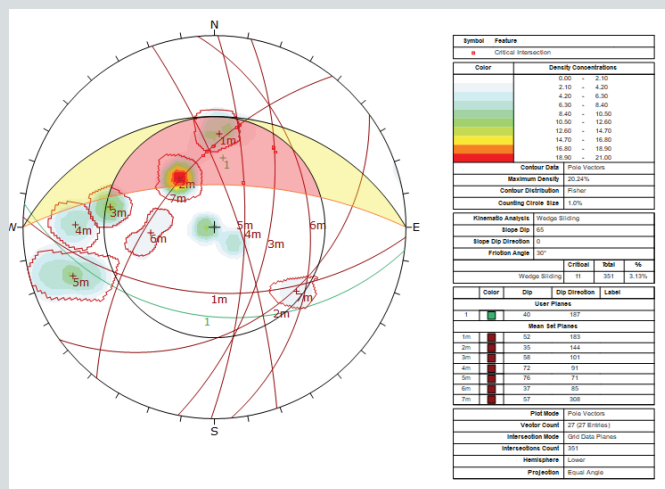


Рис. 7. Определение систем трещин юго-западного и северо-восточного бортов на горизонте +630 м. Сурет 7. +630 м горизонттағы оңтүстік-батыс және солтүстік-шығыс жағдауларындағы жарықтар жүйесін анықтау.

Figure 7. Determination of crack systems of the south-western and north-eastern sides at the horizon +630 m.

На каждом участке поднято несколько единичных замеров элементов залегания трещин каждой системы. Дальнейшая обработка единичных замеров с определением средних значений углов (азимута падения, угла падения) проводилась в программе GeoID. Для безопасного осуществления съемки больших площадей в опасных и недоступных местах высоких бортов желательно привлекать цифровую фотограмметрию.

С уже известными данными залегания трещин в массиве с помощью компьютерного моделирования программы Dips были определены системы трещин юго-западного и северо-восточного бортов на горизонте +630 м для дальнейшей оценки его состояния и обеспечения устойчивости при ведении буровзрывных работ, а также качественного планирования ведения горных работ и проектирования параметров БВР. На рис. 7 мы можем видеть, что на исследуемом участке при оценке трещиноватости массива горных пород были зарегистрированы семь систем трещин с углами и азимутами падения – $52^\circ/183^\circ$, $35^\circ/144^\circ$, $58^\circ/101^\circ$, $72^\circ/91^\circ$, $76^\circ/71^\circ$, $37^\circ/85^\circ$, $57^\circ/308^\circ$, и с максимальной концентрацией в 20,24% на северном участке, не смотря на то, что большое количество трещин сгруппированы в центральном участке, где концентрация достигает 20-22%.

В перспективе, в аналогичной программе SWedge, на основе данных при моделировании системы трещин есть возможность определить зоны обрушения откоса уступов, минимальную ширину бермы, выбрать оптимальный угол откоса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нур Ляна К. Влияние геологических условий на степень фрагментации Мраморный карьер Симпанг Пулай. / К. Нур Ляна, З. Харяени, А. Камар Шах, М.Х. Мохд. Хазизан. // Труды химии. 2016. №19. С. 694-701 (на английском языке)
2. Армагани Д. Дж. Метод SVRGWO для минимизации расстояния отлета камней в результате взрывных работ. / Д. Дж. Армагани, М. Коопалипур, М. Бахри, М. Хасанипанах Тахир. // Вестник инженерной геологии и окружающей среды. 2020. Т. 79. №8. С. 4369-4385 (на английском языке)

Завершающим этапом является районирование карьера по признакам локализации залегания систем трещин, в том числе и их ориентировку относительно откосов карьера, также обозначение потенциальных участков, подвергающихся к обрушению откоса, и добавление этих данных в геомеханическую модель карьера. В дальнейшем при проектировании буровзрывных блоков, с целью минимизации влияния взрывных волн на устойчивость бортов и уступов карьера, в том числе при предварительной оценке факторов, влияющих на предрасположенность массива к деформированию, необходимо учитывать данные с этой геомеханической модели.

Выводы

Выполненная на основе исследований методика свидетельствует о перспективности применения оптической съемки скважин и съемки откосов геологическим компасом для определения параметров залегания трещин в породном массиве.

Необходимость в детальном анализе трещиноватости массивов очевидна, поскольку различные системы трещин могут вызывать неравномерное распределение напряжений и образовывать потенциальные зоны ослабления. Задачи, стоящие перед исследовательской работой, требуют комплексного подхода, включающего геологические исследования, мониторинг состояния бортов, а также применение современных технологий для анализа и оценки устойчивости. Особое внимание следует уделить методам оптической съемки скважин и использованию геологического компаса, что позволит получить данные о состоянии массива и его трещиноватости. Для разработки решений, направленных на увеличение устойчивости бортов карьера, целесообразно использовать специальные программные продукты, такие как Dips и SWedge, которые помогут в проведении геотехнического анализа и систематизируются в единой геомеханической модели. Создание геомеханической модели, которая учитывает все факторы риска, поможет корректно проектировать параметры буровзрывных блоков. В итоге, предлагаемые методики и подходы к оценке устойчивости бортов карьера обладают большим потенциалом для повышения безопасности горных работ и минимизации рисков, связанных с обрушением откосов.

Благодарность

Статья опубликована в рамках грантового финансирования исследований молодых ученых по научным и (или) научно-техническим проектам на 2023-2025 годы (ИРН – AP19579377), при финансировании Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

3. Бала А. Геоспространственный анализ участков деградации земель в районе местного самоуправления Юг Джос, штат Плато, Нигерия. В частичном выполнении требований для присуждения степени магистра наук по геоматике: Университет Ахмаду Белло, Зария, 2018, С. 81-112 (на английском языке)
4. Джон Рид, Питер Стейси. Руководство по проектированию бортов карьера: Екатеринбург: Правовед, 2015, С. 544 (на русском языке)
5. Проект промышленной разработки месторождения Коктасжал. Пояснительная записка. Том I. Книга I. Горно-геологическая часть. Караганда, 2014. – 96 с. (на русском языке)
6. Бушков В.К. Применительная практика кинематического анализа устойчивости при обосновании параметров основных конструктивных элементов борта карьера. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. №10. С. 30-42 (на русском языке)
7. Еременко В.А. Определение параметров залегания трещин в породном массиве на основе оптической съемки скважин и интервального геотехнического документирования неориентированных кернов / В.А. Еременко, В.А. Винников, М.А. Косырева, Д.В. Лагутин. // Горный журнал. 2022. №1 (2294). С. 21-25 (на русском языке)
8. ООО «Современные изыскательские технологии» (Ltd «Advanced Survey Technologies»). Программный комплекс «Rocscience» DIPS. Построение, анализ и представление структурных данных с использованием методов сферической проекции. Москва, 2020 (русский)
9. Умаров Ф.Я. Воздействие факторов, влияющих на устойчивость бортов карьеров. // Горный журнал. 2014. №1. С. 85-92 (на русском языке)
10. Тюпин В.Н. Взрывные и геомеханические процессы в трещиноватых напряженных горных массивах: монография: Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2017, С. 192 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Нұр Ляна К. Геологиялық жағдайдың фрагментация дәрежесіне әсері. Симпанг Пулай мәрмәр қарьері. / К. Нұр Ляна, З. Харейяни, А. Камар Шах, М.Х. Мохд. Хазизан. // Химия еңбектері. 2016. №19. Б. 694-701 (ағылшын тілінде)
2. Армагани Д.Дж. Жарылыс нәтижесінде тастардың ұшып кету қашықтығын азайту үшін SVRGWO әдісі. / Д.Дж. Армагани, М. Коопиалипур, М. Бахри, М. Хасанипанах Тахир. // Инженерлік геология және қоршаған орта туралы хабаршы. 2020. Т. 79. №8. Б. 4369-4385 (ағылшын тілінде)
3. Бала А. Джостың оңтүстігіндегі жергілікті өзін-өзі басқару аймағындағы жердің тозу учаскелерінің геокеңістіктік талдаулары, Плато штаты, Нигерия. Геоматика бойынша ғылым магистрі дәрежесін беру талаптарын ішінара орындауда: Ахмаду Белло университеті, Зария, 2018, Б. 81-112 (ағылшын тілінде)
4. Джон Рид, Питер Стейси. Карьер жағдауларын жобалау бойынша нұсқаулық. Екатеринбург: Правовед, 2015. Б. 544 (орыс тілінде)
5. Көктасжал кен орнын өнеркәсіптік игеру жобасы. Түсіндірме жазба. I Том. I Кітап. Тау-кен геологиялық бөлігі. Қараганды, 2014. – 96 б. (орыс тілінде)
6. Бушков В.К. Карьер жағдауының негізгі құрылымдық элементтерінің параметрлерін негіздеу кезінде тұрақтылықтың кинематикалық талдаудың тәжірибесі. // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. 2018. №10. Б. 30-42 (орыс тілінде)
7. Еременко В.А. Ұңғымаларды оптикалық түсіру және бағдарланбаған керндерді интервалды геотехникалық құжаттау негізінде тау-жынысы сілеміндегі жарықтардың пайда болу параметрлерін анықтау / В.А. Еременко, В.А. Винников, М.А. Косырева, Д.В. Лагутин. // Тау-кен журналы. 2022. №1 (2294). Б. 21-25 (орыс тілінде)
8. «Заманауи іздестіру технологиялары» ЖШҚ (Ltd «Advanced Survey Technologies»). «Rocscience» DIPS бағдарламалық кешені. Сфералық проекция әдістерін қолдана отырып, құрылымдық деректерді құру, талдау және ұсыну. Мәскеу, 2020 (орыс тілінде)
9. Умаров Ф.Я. Карьерлердің тұрақтылығына әсер ететін факторлардың әсері. // Тау журналы. 2014. №1. Б. 85-92 (орыс тілінде)
10. Тюпин В.Н. Жарылған кернеулі тау жыныстар сілеміндегі жарылыс және геомеханикалық процестері: монография: Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2017, Б. 192 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Nur Lyana K., Effect of Geological Condition on Degree of Fragmentation in a Simpang Pulai Marble Quarry. / K. Nur Lyana, Z. Hareyani, A. Kamar Shah, M.H Mohd. Hazizan. // Procedia Chemistry. 2016. №19. P. 694-701 (in English)
2. Armaghani D.J. A SVRGWO technique to minimize flyrock distance resulting from blasting. / Armaghani D.J., Koopialipoor M., Bahri M., Hasanipanah M. Tahir. // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2020. Vol.79. №8. P 4369-4385 (in English)
3. Bala A. Geospatial Analyses of Land Degradation Sites in Jos South Local Government Area, Plateau State, Nigeria. In partial fulfillment of the requirements for the award of master of science degree in geomatics: Ahmadu Bello University, Zaria, 2018, P. 81-112 (in English)

4. *Dzhon Rid, Piter Steisi. Rukovodstvo po proektirovaniyu bortov kar'era: Ekaterinburg: Pravoved, 2015, S. 544 [John Read, Peter Stacey. Guidelines for open pit slope design: Yekaterinburg: Lawyer, 2015, P. 544] (in Russian)*
5. *Proekt promyshlennoi razrabotki mestorozhdeniya Koktaszhal. Poyasnitel'naya zapiska. Tom I. Kniga 1. Gorno-geologicheskaya chast'. Karaganda, 2014. – 96 s. [The project of industrial development of the Koktaszhal deposit. Explanatory note. Volume I. Book 1. Mining and geological part. Karaganda. 2014. – 96 p.] (in Russian)*
6. *Bushkov V.K. Primenitel'naya praktika kinematicheskogo analiza ustoichivosti pri obosnovanii parametrov osnovnykh konstruktivnykh elementov borta kar'era. // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2018. №10. S. 30-42 [Bushkov V.K. The applied practice of kinematic stability analysis in substantiating the parameters of the main structural elements of the quarry side. // Mining information and analytical bulletin. 2018. №10. P. 30-42] (in Russian)*
7. *Eremenko V.A. Opredelenie parametrov zaleganiya treshchin v porodnom massive na osnove opticheskoi s'emki skvazhin i interval'nogo geotekhnicheskogo dokumentirovaniya neorientirovannykh kernov / V.A. Eremenko, V.A. Vinnikov, M.A. Kosyreva, D.V. Lagutin. // Gornyi zhurnal. 2022. №1 (2294). S. 21-25 [Eremenko V.A. Determination of the parameters of the occurrence of cracks in the rock mass based on optical survey of wells and interval geotechnical documentation of undirected cores. / V.A. Eremenko, V.A. Vinnikov, M.A. Kosyreva, D.V. Lagutin. // Mining Journal. 2022. №1 (2294). P. 21-25] (in Russian)*
8. *ООО «Sovremennye izyskatel'skie tekhnologii» (Ltd «Advanced Survey Technologies»). Programmnyi kompleks «Rocscience» DIPS. Postroyeniye, analiz i predstavleniye strukturnykh dannykh s ispol'zovaniyem metodov sfericheskoi proektsii. Moskva, 2020 [LLC «Modern Survey Technologies» (Ltd «Advanced Survey Technologies»). The Rocscience DIPS software package. Construction, analysis and presentation of structural data using spherical projection methods. Moscow, 2020] (in Russian)*
9. *Umarov F.Ya. Vozdeistvie faktorov, vliyayushchikh na ustoichivost' bortov kar'erov. // Gornyi zhurnal. 2014. №1. S. 85-92 [Umarov F.Ya. The impact of factors affecting the stability of quarry sides. // Mining Journal. 2015. №1. P. 85-92] (in Russian)*
10. *Tyupin V.N. Vzryvnye i geomekhanicheskie protsessy v treshchinovatykh napryazhennykh gornykh massivakh: monografiya: Belgorod: ID «Belgorod» NIU «BelGU», 2017, S. 192 [Tyupin V.N. Explosive and geomechanical processes in fractured stressed mountain massifs: monograph: Belgorod: Publishing house «Belgorod» NRU «BelGU», 2017, P. 192] (in Russian)*

Сведения об авторах:

Хусан Б., PhD, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), hbolat@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0996-348X>

Мустафин С.А., докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), saken.mustafin.89@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3811-990X>

Ескенова Г.Б., докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), g.eskenova@kstu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-8184-4085>

Асанова Ж.М., PhD, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), zhanar-a@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1169-8729>

Авторлар туралы мәліметтер:

Хусан Б., PhD, «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының аға оқытушысы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Мустафин С.А., «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының докторанты, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ескенова Г.Б., «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының докторанты, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, (Қарағанды қ., Қазақстан)

Асанова Ж.М., PhD, «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасы доцентінің м.а., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Khussan B., PhD, senior lecturer at the Department of «Development of mineral deposits» NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Mustafin S.A., doctoral student of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Yeskenova G.B., doctoral student of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Asanova Zh.M., PhD, Acting Associate Professor of the Department of «Development of mineral deposits» NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Код МРНТИ 36.16.19

Х.М. Касымканова¹, Э.О. Орынбасарова¹, А.С. Уразалиев², *К.А. Жанакулова¹
¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),
²ТОО «Институт Ионосферы» (г. Алматы, Казахстан)

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДРЕЙФА ГРАВИМЕТРА CG-6 AUTOGRAV ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Аннотация. Вопрос обеспечения высокоточными данными о силе тяжести Земли в рамках реализации проекта «Разработка модели геоида Республики Казахстан, как основа единой государственной системы координат и высот» является первоочередной задачей для достижения поставленной цели. Построение модели геоида и гравиметрического полигона невозможно без применения современных технологий. Сегодня измерить силу тяжести с высокой точностью возможно лишь с применением гравиметров. Современные гравиметры просты в использовании, надежны и эффективны при проведении гравиметрических измерений. В статье проведены тестовые измерения относительных значений силы тяжести на территории кампуса Satbayev University цифровым гравиметром CG-6 Autograv. Определена скорость дрейфа гравиметра, дана оценка точности проводимых измерений.

Ключевые слова: сила тяжести, относительный гравиметр, ступенчатый метод, CG-6 Autograv, дрейф гравиметра, полином первой степени.

Ауырлық күшін жоғары дәлдікпен өлшеуді қамтамасыз ету үшін CG-6 Autograv гравиметрінің дрейфін анықтау әдісі

Аңдатпа. «Координаттар мен биіктіктердің біртұтас мемлекеттік жүйесінің негізі ретінде Қазақстан Республикасының геоидтық моделін жасау» жобасын іске асыру шеңберінде Жердің ауырлық күші туралы жоғары дәлдіктегі деректермен қамтамасыз ету мәселесі алға қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін бірінші кезектегі міндет болып табылады. Геоид пен гравиметриялық полигон моделін құру заманауи технологияларды қолданбай мүмкін емес. Бүгінгі таңда ауырлық күшін гравиметрлерді қолдану арқылы ғана жоғары дәлдікпен өлшеуге болады. Қазіргі гравиметрлерді пайдалану оңай, сенімді және гравиметриялық өлшеулер жүргізуде тиімді. Мақалада CG-6 Autograv сандық гравиметрімен Satbayev University кампусындағы ауырлық күшінің салыстырмалы мәндерін сынақтан өткізді. Гравиметрдің дрейф жылдамдығы анықталды, өлшеулердің дәлдігі бағаланды.

Түйінді сөздер: ауырлық күші, салыстырмалы гравиметр, қадамдық әдіс, CG-6 Autograv, гравиметр дрейфі, бірінші дәрежелі көпмүшелік.

Method for determining the drift of the CG-6 Autograv gravimeter to provide high-precision gravity measurements

Abstract. The issue of providing high-precision data on the Earth's gravity within the framework of the project «Development of a geoid model of the Republic of Kazakhstan as the basis of a unified state coordinate system and heights» is a primary task to achieve this goal. Building a model of a geoid and a gravimetric polygon is impossible without the use of modern technologies. Today, it is possible to measure gravity with high accuracy only with the use of gravimeters. Modern gravimeters are easy to use, reliable and effective in carrying out gravimetric measurements. In the article, test measurements of relative gravity values on the campus of Satbayev University with a digital gravimeter CG-6 Autograv were carried out. The gravimeter drift velocity was determined, and the accuracy of the measurements was estimated.

Key words: gravity, relative gravimeter, stepwise method, CG-6 Autograv, gravimeter drift, polynomial of the first degree.

Введение

Многие страны в прикладных и научных исследованиях Земли применяют относительный гравиметр CG-6 Autograv, так как данная модель соответствует современным требованиям к гравиметрическим измерениям [1]. CG-6 Autograv – это гравиметр нового поколения, сочетающий в себе новейшие технологии и высокую точность измерений для высокоточных гравитационных исследований [2]. Принцип работы инструмента заключается в измерении разницы ускорения свободного падения, используя чувствительный элемент из плавленого кварца [3]. Положение массы изменяется под воздействием силы тяжести, а автоматическая цепь обратной связи создает электростатическую силу, возвращающую массу в нейтральное положение. Напряжение обратной связи преобразуется в цифровой сигнал и передается для обработки и отображения данных. Гравиметр устанавливается на объекте съемки с помощью специально разработанной треноги для данного инструмента, управление осуществляется через панель управления. В инструмент встроен приемник GPS для определения координат и настройки часов на UTC. Scintrex CG-6 оснащен функцией автоматической коррекции, которая значительно повышает точность измерений. Гравиметр автоматически учитывает дрейф, наклон, приливы и температуру, чтобы свести к минимуму влияние внешних и внутренних факторов на измерения силы тяжести. Данная автоматическая коррекция в Scintrex CG-6 основана на современных алгоритмах и передовых технологиях, что гарантирует высокую точность и надежность измерений.

Функциональные возможности гравиметра позволяют проводить высокоточные гравиметрические измерения в любой точке мира с разрешением 0.0001 мГал в диапазоне 8000 мГал. В гравиметрии за единицу ускорения силы тяжести принят 1 Гал [4]:

$$1 \text{ Гал} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2 - \text{гал};$$

$$1 \text{ мГал} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2 - \text{миллигал};$$

$$1 \text{ мкГал} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2 - \text{микрогогал}.$$

CG-6 Autograv отличается высокоточными измерениями, портативностью, простотой и эффективностью использования [5]. Более детальные технические характеристики приведены в таблице 1.

Методы исследования

Перед началом проведения гравиметрических измерений, заблаговременно (минимально за два дня) выполнить горизонтирование прибора и провести калибровку наклона гравиметра, так как долгое пребывание прибора под наклоном дает неточные данные при измерениях. Также необходимо выполнить калибровку дрейфа инструмента, чтобы уменьшить значения дрейфа гравиметра на протяжении периода «ожидания» измерений. Данную калибровку рекомендовано делать в ночное время суток, продолжительностью не менее 4 часов [6] в выбранном заранее месте, наименее подверженному микросейсмическим колебаниям (рис. 1).

После калибровки прибора выполняют тестовые измерения на вычисление дрейфа и определения точности показаний гравиметра. Дрейф гравиметра определяется

Технические характеристики относительного гравиметра CG-6 Autograv

Таблица 1

CG-6 Autograv салыстырмалы гравиметрінің техникалық сипаттамалары

Кесте 1

Technical characteristics of the relative gravimeter CG-6 Autograv

Table 1

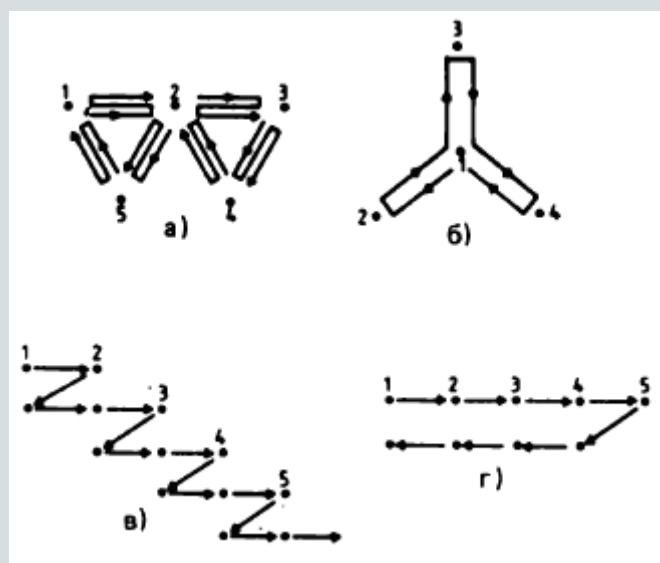
Тип датчика	Плавленый кварц с электростатическим обнулением
Точность показания	0,1 мкГал
Стандартное отклонение	<5 мкГал
Рабочий диапазон	В любой точке мира (8 000 мГал без переустановки)
Остаточный дрейф	<20 мкГал/день
Некомпенсированный дрейф	<200 мкГал/день
Диапазон автоматической компенсации наклона	+200 арксекунд
Автоматически вводимые поправки	На земные приливы, на наклон прибора, на температуру, на дрейф
Точность GPS	Стандартная точность 2,5 м
Емкость аккумуляторной батареи	Перезаряжаемые литиевые аккумуляторные батареи со встроенной логикой: 2 x 6,68 А-ч (10,8 В). Работа в течение суток при температуре 25 °С (77 °F)
Рабочая температура	От -40 °С до +45 °С (от -40 °F до 113 °С) Опционная высокотемпературная версия с диапазоном до +55 °С (131 °F)
Размеры	21,5 см (В) x 21 см x 24 см (8,5 дюйма x 8,2 дюйма x 9 дюймов)
Вес	5,2 кг с аккумуляторными батареями



Рис. 1. Процесс калибровки дрейфа гравиметра.
Сурет 1. Гравиметр дрейфін калибрлеу процесі.
Figure 1. The gravimeter drift calibration process.

разностью двух отсчетов в одной и той же точке. Для расчета сдвижения нуля необходимо производить исходные и конечные наблюдения на одном и том же пункте или на пунктах с известными значениями силы тяжести. Как правило, для измерений, где необходима высокая точность, используется ступенчатый метод (метод повторных наблюдений) определения дрейфа [7]. Дрейф можно разделить на 2 составляющие: стационарный и дрейф при транспортировке [8]. К стационарному дрейфу относят старение пружины, долгосрочные вариации температуры и давления. К дрейфу при транспортировке относят сотрясения, короткопериодические флуктуации температуры.

Дрейф при транспортировке почти линеен на коротких интервалах времени, как правило, в течение нескольких часов, однако в течение дня часто появляются нелинейности. В зависимости от структуры сети, характеристик прибора и требуемой точности могут применяться различные методы измерения для контроля и определения смещения нуля-пункта прибора (рис. 2).



а) разностный метод; б) метод звезды;
в) ступенчатый метод; г) метод профиля

Рис. 2. Методы определения дрейфа гравиметров.
Сурет 2. Гравиметрлердің дрейфін анықтау әдістері.
Figure 2. Methods for determining the drift of gravimeters.

При выполнении исследований по определению дрейфа гравиметра CG-6 Autograv S/N 000000023 120528 полевые измерения проводились с применением ступенчатого метода. Это позволило выполнить контроль дрейфа прибора для повышения надежности и точности определения силы тяжести.

Наблюдаемые станции А, В и С (рис. 3), были выбраны с соблюдением условий минимального шума и вибраций (отсутствие близости автодорог и мест, создающих различные колебания).

Для измерений силы тяжести на станции гравиметр устанавливается на прочном основании: станция А – бетонированный пол в лаборатории, цокольный этаж здания, станция В – асфальтированный тротуар, станция С – тротуар из брусчатки. Работа была выполнена по следующей схеме: А – В – А – В – С – В – С – А – С – А по методике повторных наблюдений.

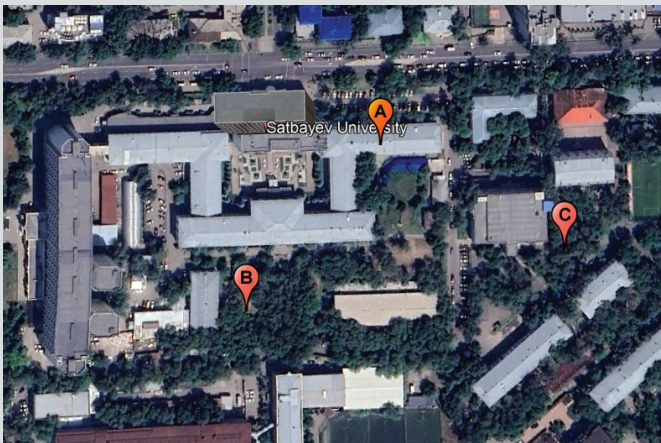


Рис. 3. Схема расположения станций.
Сурет 3. Станциялардың орналасу схемасы.
Figure 3. Station layout.

Перед началом измерений гравиметр необходимо ввести в рабочий режим, что подразумевает дать кварцевой системе время, чтобы «привыкнуть» к режиму съемки. После полного ввода параметров съемки (название проекта, название станций, количество циклов измерений, время измерения одного цикла и т.д.), инструмент нивелируется (приводится в горизонтальное положение). Чувствительная система гравиметра должна быть строго ориентирована относительно отвесной линии [9]. Таким образом, измерительная система находится в строго вертикальном положении, совпадающем с направлением силы тяжести. Невыполнение данного условия приводит к ошибке в измерениях из-за влияния наклона (рис. 4).

Наклон чувствительной системы относительно отвесной линии на угол ν приводит к фактическому измерению величины $g \cdot \cos \nu$. Таким образом, влияние наклона имеет следующий вид:

$$\sigma g_{\nu} = g(1 - \cos \nu) \approx \frac{g}{2} \nu^2, \quad (1)$$

где:

σg_{ν} – измеренная сила тяжести;
 g – фактическая сила тяжести;
 ν – величина наклона.



Рис. 4. Зависимость отсчета от наклона (продольный уровень не отъюстирован). 1 деление уровня соответствует 30".

Сурет 4. Санактың көлбеуге тәуелділігі (бойлық деңгей алынып тасталмаған). 1 деңгейдің бөлінуі 30-ға сәйкес келеді.

Figure 4. The dependence of the reference on the slope (the longitudinal level is not adjusted). 1 level division corresponds to 30".

В соответствии с формулой (1) при ошибке юстировки уровня на $\nu = 30''$, результат измерений будет преуменьшен на величину $0,1 \text{ мкм} \cdot \text{с}^{-2}$.

Поэтому гравиметры снабжаются уровнями, оси которых взаимно перпендикулярны. С помощью электронных уровней с датчиками наклона, информация от которых выводится на экран, вращая одновременно два микрометрических винта на треноге, прибор горизонтируется [10]. При выставленном уровне стрелки датчика наклона загораются зеленым цветом, что означает наклон прибора не превышает $\pm 10 \text{ arcsec}$ (данный параметр оператором вводится в настройки прибора). При нивелировании прибора, высота инструмента меняется, а изменение высоты прибора влечет изменение силы тяжести на $0,01 \text{ мкм} \cdot \text{с}^{-2}$ на каждые 3 мм высоты соответственно, поэтому также необходимо следить, чтобы изменение высоты не превышало 3 мм.



Рис. 5. Процесс установки инструмента.
Сурет 5. Құралды орнату процесі.
Figure 5. The installation process of the tool.

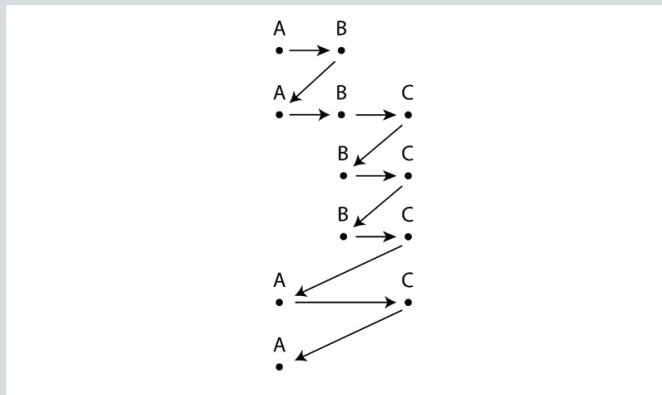


Рис. 6. Ступенчатый метод определения дрейфа гравиметра CG-6 Autograv S/N 000000023120528.

Сурет 6. Гравиметр дрейфін анықтаудың қадамдық әдісі CG-6 Autograv S/N 000000023120528.

Figure 6. Stepwise method for determining the drift of the CG-6 Autograv gravimeter S/N 000000023120528.

21 / Station	Date	Time	CorrGrav
22 A	14.02.2024	05:36:40 3949.7388	
23 A	14.02.2024	05:37:40 3949.7381	
24 A	14.02.2024	05:38:40 3949.7399	
25 A	14.02.2024	05:39:40 3949.7390	
26 A	14.02.2024	05:40:40 3949.7382	
27 B	14.02.2024	06:12:54 3948.6835	
28 B	14.02.2024	06:13:54 3948.6833	
29 B	14.02.2024	06:14:54 3948.6828	
30 B	14.02.2024	06:15:54 3948.6841	
31 B	14.02.2024	06:16:54 3948.6847	
32 A	14.02.2024	06:53:50 3949.7401	

Рис. 7. Результаты измерений относительным гравиметром CG-6 Autograv S/N 000000023120528.

Сурет 7. Салыстырмалы гравиметрмен өлшеу нәтижелері CG-6 Autograv S/N 000000023120528.

Figure 7. Measurement results with the relative gravimeter CG-6 Autograv S/N 000000023120528.

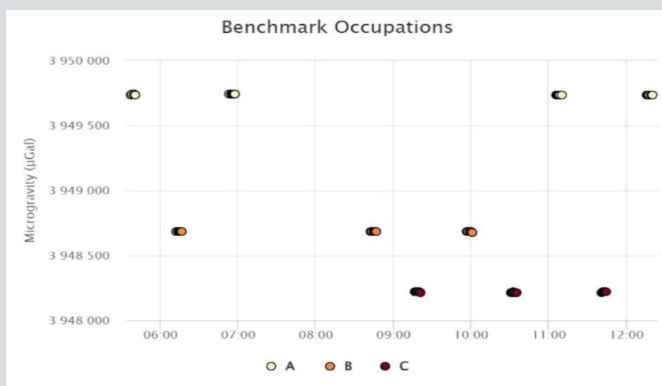


Рис. 8. Распределение относительных значений силы тяжести линейно во времени.

Сурет 8. Ауырлық күшінің салыстырмалы мәндерінің таралуы уақыт бойынша сызықты.

Figure 8. Distribution of relative gravity values linearly over time.

После приведения гравиметра в горизонтальное положение (рис. 5), инструмент готов к работе.

Для повышения надежности и точности измерений берется серия отсчетов на одной точке. В нашем исследовании сеанс на каждой станции состоял из 5 циклов по 60 секунд. Сходимость отсчетов измерения на станции является неочевидным контролем корректной работы гравиметра. Рекомендуется в серии отсчетов брать два последних измерения, так как после установки гравиметра прибор стабилизируется и последние измерения являются наиболее надежными.

Согласно схеме А – В – А – В – С – В – С – А – С – А были выполнены гравиметрические измерения на каждой станции. Последовательность измерений приведена на рис. 6.

Данная схема измерений позволяет получить как минимум 3 измерения на каждой станции, что дает полное представление о характере и скорости дрейфа инструмента. Таким образом, согласно полученным результатам можно оценить скорость смещения нуля-пункта со временем.

Результаты

Результатом съемки является dat-файл, содержащий информацию о значениях силы тяжести, полученных в ходе съемки (рис. 7), где показаны данные без корректировки (RAW-data), внесенные поправки, а также автоматически скорректированные данные (Correct Grav).

Для первоначального анализа была выполнена простая обработка без уравнивания значений в Web сервисе <https://jollyfant.github.io/g-campaign-solve-js/>. Значения силы тяжести станции А являлись контрольными, относительно значений которых были распределены изме-

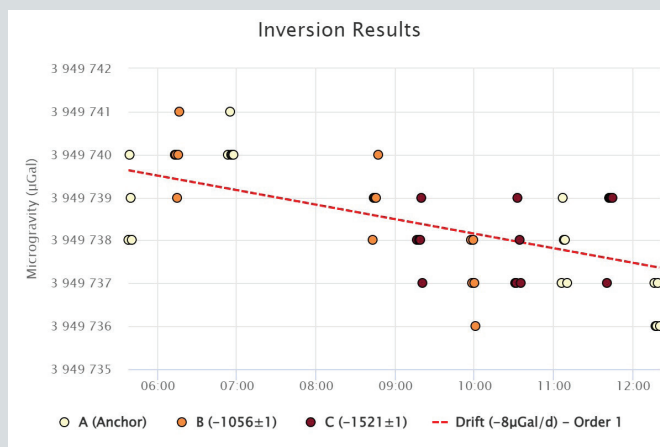


Рис. 9. Аппроксимация дрейфа полиномом 1-ой степени измерений относительного гравиметра CG-6 Autograv S/N 000000023120528.

Сурет 9. Салыстырмалы гравиметр CG-6 autograv S/N 0000000023120528 өлшемдерінің 1-дәрежелі көпмүшесімен дрейфті жуықтау.

Figure 9. Approximation of drift by a polynomial of the 1st degree of measurements of the relative gravimeter CG-6 Autograv S/N 000000023120528.

ренные значения силы тяжести последующих станций линейно во времени. Результат данной обработки представлен на рис. 8. Также была проведена обработка измерений в виде аппроксимации дрейфа полиномом 1-ой степени (рис. 9).

По результатам измерений дрейф относительного гравиметра CG-6 Autograv S/N 000000023120528 составил -8 мкГал в день, что является допустимым и соответствует характеристикам, заявленным производителем. Стандартное отклонение (STD) повторяемости измерений составляет 1.4 мкГал, что также является отличным показателем точности измерений.

Заклучение

Тестовые измерения, проведенные на территории кампуса Satbayev University с помощью относительного гравиметра CG-6 Autograv, показали, что данный прибор соответствует современным требованиям к гравиметриче-

ским измерениям. Дрейф гравиметра определялся ступенчатым методом, который является надежным методом для оценки смещения нуля-пункта инструмента. В результате измерений дрейф гравиметра составил -8 мкГал в день, что является допустимым значением и соответствует характеристикам, заявленным производителем. Стандартное отклонение измерений составило 1.4 мкГал, что также не превышает заявленной в технической документации значения повторяемости измерений прибора.

Таким образом, относительный гравиметр CG-6 Autograv может быть рекомендован для проведения высокоточных гравиметрических измерений в различных научных и прикладных задачах.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №BR21882366).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Ossama S.A. и др. Практический опыт использования первого относительного гравиметра типа Scintrex CG-6 Autograv в Дубае, Объединенные Арабские Эмираты. // Всемирный инженерный и технологический журнал. 2020. Т. 8. №2. С. 237-247 (на английском языке)*
2. *Ireshal M.P.G. Влияние дрейфа, наклона и чувствительности к наклону на гравитационные наблюдения CG-6. // Ireshal M.P.G., Prasanna H.M.I. / IRE Журналы. 2021. Т.5. №6. С. 2456-8880 (на английском языке)*
3. *Boddice D. и др. Съемка в условиях микрогравитации до, во время и после отдаленных крупных землетрясений. // Журнал прикладной геофизики. 2022. Т. 197. С. 104542 (на английском языке)*
4. *В.И. Кузьмин. Утверждено редакционно-издательским советом академии в качестве учебного пособия для студентов геодезических специальностей всех форм обучения: Новосибирск, СГГА, 2011, С. 163 (на русском языке)*
5. *Касымканова Х.М. Путь относительных гравиметрических измерений: от маятника к микрочипу. / Х.М. Касымканова, Э.О. Орынбасарова, К.А. Жанакулова, Б. Адебиет. // Горный журнал Казахстана. 2024. №4. С. 21-28 (на русском языке)*
6. *Гравиметр CG-6 Autograv™. Руководство по эксплуатации. – 94 с. (на русском языке)*
7. *Timmen L. Абсолютная и относительная гравиметрия. // Науки о геодезии – I: достижения и будущие направления. 2010. С. 1-48 (на английском языке)*
8. *Timmen L. Возможности гравиметра Scintrex Autograv CG-3M №4492 для исследований в «абсолютном масштабе». / Timmen L., Gitlein O. // Бразильский журнал картографии. 2004. Т. 56. №2. С. 89-95 (на английском языке)*
9. *Торге В. Гравиметрия: М.: Мир, 1999, С. 429 (на русском языке)*
10. *Пугин А.В. Гравиразведка. Часть II. Учебное пособие: Пермь, 2019, С. 94 (на русском языке)*

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Ossama S.A. және басқалар. Біріккен Араб Әмірліктері, Дубайдағы Scintrex CG-6 Autograv типті бірінші салыстырмалы гравиметрді қолданудың практикалық тәжірибесі. // Дүниежүзілік инженерлік және технологиялық журнал. 2020. Т. 8. №2. Б. 237-247 (ағылшын тілінде)*
2. *Ireshal M.P.G. Дрейфтің, көлбеудің және көлбеу сезімталдықтың CG6 гравитациялық бақылауларына әсері. // Ireshal M.P.G., Prasanna H.M.I. / IRE Журналдары. 2021. Т. 5. №6. Б. 2456-8880 (ағылшын тілінде)*
3. *Boddice D. және басқалар. Алыс ірі жер сілкіністеріне дейін, кезінде және одан кейін микрогравитация жағдайында түсіру. // Қолданбалы геофизика журналы. 2022. Шығ. 197. Б. 104542 (ағылшын тілінде)*
4. *В.И. Кузьмин. Академияның редакциялық-баспа кеңесі оқытудың барлық нысандарындағы геодезиялық мамандықтар студенттеріне арналған оқу құралы ретінде бекіткен: Новосибирск, СГГА, 2011, Б. 163 (орыс тілінде)*
5. *Касымканова Х.М. Микрочиптен маятникке дейінгі салыстырмалы гравиметриялық өлшеулер. / Х.М. Касымканова, Э.О. Орынбасарова, К.А. Жанакулова, Б. Адебиет. // Қазақстанның тау-кен журналы. 2024. №4. Б. 21-28 (орыс тілінде)*
6. *Гравиметр CG-6 Autograv™. Пайдалану жөніндегі Нұсқаулық. – 94 б. (орыс тілінде)*
7. *Timmen L. Абсолюттік және салыстырмалы гравиметрия. // Геодезия ғылымдары – I: Алғашқы жетістіктер және болашақ бағыттар. 2010. Б. 1-48 (ағылшын тілінде)*

8. Timmen L. «Абсолютті масштабтағы» зерттеулерге Арналған Scintrex Autograv CG-3M №4492 гравиметрінің сыйымдылығы. / Timmen L., Gitlein O. // Бразилия Картографиясына шолу. 2004. Т. 56. №2. Б. 89-95 (ағылшын тілінде)
9. Торге В. Гравиметрия: М.: Мир, 1999, Б. 429 (орыс тілінде)
10. А.В. Пугин. Гравиразведка. II бөлім. Оқу құралы: Пермь: 2019, Б. 94 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Ossama S.A. Practical Experiences with the First Relative Gravimeter of Type Scintrex CG-6 Autograv in Dubai, The United Arab of Emirates. // World Journal of Engineering and Technology. 2020. Vol. 8. №2. P. 237-247 (in English)
2. Ireshal M.P.G. Impact Of Drift, Tilt and Tilt Susceptibility On CG-6 Gravity Observations. // Ireshal M.P.G., Prasanna H.M.I. / IRE Journals. 2021. Vol. 5. №6. P. 2456-8880 (in English)
3. Boddice D. et al. Microgravity surveying before, during and after distant large earthquakes. // Journal of Applied Geophysics. 2022. Vol. 197. P. 104542 (in English)
4. Kuz'min V.I. Uтверzhdeno redaktsionno-izdatel'skim sovetom akademii v kachestve uchebnogo posobiya dlya studentov geodezicheskikh spetsial'nostei vsekhn form obucheniya: Novosibirsk, SGGA, 2011, S.163 [V.I. Kuzmin. Approved by the Editorial and publishing Council of the Academy as a textbook for students of geodetic specialties of all forms of education: Novosibirsk, SGGA, 2011, P. 163] (in Russian)
5. Kassymkanova Kh.-K.M. Put' otноситel'nykh gravimetricheskikh izmerenii: ot mayatnika k mikrochipu. / Kh.M. Kasymkanova, E.O. Orynbasarova, K.A. Zhanakulova, B. Adebiet. // Gornyi zhurnal Kazakhstana. 2024. №4. S. 21-28 [Kassymkanova Kh.-K.M. The path of relative gravimetric measurements: from pendulum to microchip. / Kh.M. Kasymkanova, E.O. Orynbasarova, K.A. Zhanakulova, B. Adebiet. // Mining Magazine of Kazakhstan. 2024. №4. P. 21-28] (in Russian)
6. Gravimetr CG-6 Autograv™. Rukovodstvo po ekspluatatsii. – 94 s. [Gravimeter CG-6 Autograv™. User manual. – 94 p.] (in Russian)
7. Timmen L. Absolute and Relative Gravimetry. // Sciences of Geodesy – I: Advances and Future Directions. 2010. P. 1-48 (in English)
8. Timmen L. The capacity of the Scintrex Autograv CG-3M №4492 gravimeter for «absolute-scale» surveys. / Timmen L., Gitlein O. // Revista Brasileira de Cartografia. 2004. Vol. 56. №2. P. 89-95 (in English)
9. Torge V. Gravimetriya: M.: Mir, 1999, S. 429. [Torge V. Gravimetriya: M.: Mir, 1999, P. 429] (in Russian)
10. A.V. Pugin. Gravitrazvedka. Chast' II. Uchebnoe posobie: Perm': 2019, S. 94 [A.V. Pugin. Gravity exploration. Part II. A study guide: Perm: 2019. P. 94] (in Russian)

Сведения об авторах:

Касымканова Х.М., доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), k.kassymkanova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-9590-2079>

Орынбасарова Э.О., PhD, ассоциированный профессор, заведующая кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), e.orynbassarova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-6421-4698>

Уразалиев А.С., старший научный сотрудник ТОО «Институт Ионосферы», заведующий сектором моделирования урбанизированных территорий (г. Алматы, Казахстан), aset_urazaliev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7444-2897>

Жанакулова К.А., докторант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), 920103402123-d@stud.satbayev.university; <https://orcid.org/0009-0001-6920-5675>

Авторлар туралы мәліметтер:

Касымканова Х.М., техникалық ғылымдарының докторы, Satbayev University О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Орынбасарова Э.О., PhD, қауымдастырылған профессоры, Satbayev University О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

Уразалиев А.С., «Ионосфера институты» ЖШС аға ғылыми қызметкері, урбандалған аумақтарды модельдеу секторының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

Жанакулова К.А., Satbayev University О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Kassymkanova Kh.-K.M., Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Orynbasarova E.O., PhD, Associate Professor, Head of the Department of Mine Surveying and Geodesy, of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Urazaliev A.S., Senior Researcher at Institute of Ionosphere LLP, Head of the Urbanized Territories Modeling Sector (Almaty, Kazakhstan)

Zhanakulova K.A., PhD student at the Department of Mine Surveying and Geodesy, of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 36.23.31

*А.З. Капасова, М.П. Талерчик, Е.Ж. Маусымбеков

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина (г. Астана, Казахстан)

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Аннотация. В настоящее время ГИС продемонстрировала свое удобство в разведке полезных ископаемых, принимая за основу метод дистанционного зондирования Земли, включающий в себя различные измерения отраженных и поглощенных электромагнитных колебаний от удаленных объектов, состоящих из различных сред, таких как горная порода, минералы, земельный и растительный покров. Спектральные спутниковые снимки с использованием бортовых дистанционных датчиков позволяют обнаружить перспективные участки месторождений полезных ископаемых. Программа ГИС (ARGIS) имеет возможность создавать прогнозную карту полезных ископаемых без выезда в поле, находясь в камеральных условиях. Это обусловлено тем что, дистанционное зондирование Земли может различать спектральные признаки горных пород и минералов, а программа ГИС способна интегрировать различные источники данных по геологии, что позволяет различать типы геологических минералов.

Ключевые слова: пространственные данные, дистанционное зондирование Земли, спектральные данные, спектрометры, спектральные диапазоны, система координат и высот в геодезии, оптико-электронная съемка и радарная съемка, геоинформационная система, анализ геопро пространственных данных, геологическое картографирование, геопро пространственные данные.

Геологиялық белгілерді анықтау үшін қашықтықтан зондтаудың спектрлік әдісін қолдану ерекшеліктерін зерттеу пайдалы қазбалар кен орындары

Андатпа. Қазіргі уақытта ГАЗ Жерді қашықтықтан зондтау әдісін негізге ала отырып, пайдалы қазбаларды барлауда өзінің ыңғайлылығын көрсетті, оған әртүрлі ортадан тұратын алыс объектілерден шағылысқан және сіңірілген электромагниттік тербелістердің әртүрлі өлшемдері кіреді тау жыныстары, минералдар, жер және өсімдік жамылғысы. Борттық қашықтықтағы датчиктерді қолданатын спектрлік спутниктік суреттер пайдалы қазбалар кең орындарының перспективасын учаскелерін анықтауға мүмкіндік береді. ГАЗ бағдарламасы (ARGIS) камералдық жағдайда далаға шықпай-ақ пайдалы қазбалардың болжамды картасын жасау мүмкіндігіне ие. Бұл жерді қашықтықтан зондтау тау жыныстары мен минералдардың спектрлік белгілерін ажырата алатындығына байланысты, ал ГАЗ бағдарламасы геология бойынша әртүрлі деректер көздерін біріктіре алады, бұл геологиялық минералдардың түрлерін ажыратуға мүмкіндік береді.

Түйіндер сөздер: кеңістіктік деректер, Жерді қашықтықтан зондтау, спектрлік деректер, спектрометрлер, спектрлік диапазондар, геодезиядағы координаттар мен биіктіктер жүйесі, оптикәлік-электронды және радиолокациялық түсірілім, геоақпараттық жүйе, геокеңістіктік деректерді талдау, геологиялық картаға түсіру, геокеңістіктік деректер.

Study of the features of using the spectral remote sensing method to detect geological features of mineral deposits

Abstract. Currently, GIS has demonstrated its convenience in mineral exploration, taking as a basis the method of remote sensing of the Earth, which includes various measurements of reflected and absorbed electromagnetic vibrations from remote objects consisting of various media such as rock, minerals, land and vegetation. Spectral satellite images using on-board remote sensors make it possible to detect promising areas of mineral deposits. The GIS program (ARGIS) has the ability to create a forecast map of minerals without going into the field, while in office conditions. This is due to the fact that remote sensing of the Earth can distinguish the spectral features of rocks and minerals, and the GIS program is able to integrate various data sources on geology, which makes it possible to distinguish types of geological minerals.

Key words: spatial data, remote sensing of the Earth, spectral data, spectrometers, spectral ranges, the system of coordinates and heights in geodesy, optoelectronic photography and radar photography, geographic information system, analysis of geospatial data, geological mapping, geospatial data.

Введение

Наша страна располагает огромными природными богатствами, из 110 полезных ископаемых в Казахстане имеется 99. По данным иностранных специалистов разведанные и эксплуатируемые нефтегазовые месторождения могут оказаться лишь небольшой частью огромного нефтяного или газового месторождения. При полной и тщательной геологической разведке нашей территории, страна по запасам может оказаться среди мировых лидеров нефти и газодобывающих стран. Кроме того, по косвенным признакам имеется более 300 месторождений золота, из них разведаны лишь 173. Также природа щедро одарила другими полезными ископаемыми. Имеется ряд малоизученных бассейнов, таких как Северо-Торгайский, Аральский и Сырдарьинский, Прииртышский, Шу-Сарысу́йский, а также территория южного Алтая Восточно-Казахстанской области.

В настоящее время основным способом геологической разведки является полевой метод. Непосредственно находясь в полевых условиях, изучается геологическая обстановка, проводится сбор образцов горных пород, кернов после бурения. Все данные наносятся на карту. Используемая методика геологоразведочных работ отличается

большой достоверностью, но требуется огромное количество времени и выполнение большего объема трудоемких работ [1].

Из-за большой трудоемкости выполнения геологоразведочных работ невозможно за определенное время полностью охватить всю территорию РК. В данное время стоит вопрос о полной разведке, при необходимости переразведки и доразведки территории в геологическом отношении. Для выполнения требуется огромное количество времени и труда. Исходя из этого, в мире активно начали использовать технологию дистанционного зондирования Земли, что внесло значительный вклад в геологоразведку и оценку минеральных ресурсов.

Методы дистанционного зондирования упрощают проведение трудоемких геологоразведочных работ. Это обусловлено возможностью доступа к труднодоступным территориям и различным местностям, имеющим сложные формы рельефа (например, к некоторым горным массивам и различным полупустынным и пустынным территориям), что позволяет осуществлять сбор интересующих данных быстро, через частые промежутки времени и в больших масштабах.

Таким образом, космические технологии дают новые возможности в определении литологии горных пород и зон их изменений. Ранее геологические карты составлялись по результатам традиционных полевых изысканий на основе строгих правил, что неизбежно приводило к некоторым неточностям. Появление дистанционного зондирования и ГИС дало возможность постоянного обновления картографических данных. Впоследствии появилась возможность в реальном масштабе времени контролировать геологическую обстановку. Мультиспектральные данные и данные высокого разрешения доступны благодаря технологиям цифровой обработки изображений с расширенными возможностями [2]. Они еще больше расширили потенциал дистанционного зондирования при определении геологических структур и литологии за счет создания улучшенных и интерпретируемых изображений с более высоким уровнем точности. В настоящее время уже имеется диапазон спектральных волн, которые являются признаками определенных наземных объектов (таблица 1).

Методы исследования

Существующие подходы к анализу дистанционного зондирования, спектральных изображений основаны на сопоставлении четких граней перехода диапазона спектра при изменении химического состава минералов и других объектов окружающей среды. Используемые программные средства и их возможности анализа позволили до-

биться хороших успехов в обнаружении определенных спектральных сигналов, исходящих от различных объектов, что впоследствии дало возможность выявления и изучения объектов, расположенных на местности дистанционно, с возможным использованием спутников дистанционного зондирования Земли.

Однако стандартный подход решения вопроса не полностью удовлетворяет, это связано с тем, что спектральные особенности, исходящие из одних и тех же химических веществ минералов, различаются и имеют небольшие сдвиги от эталонных спектральных и тоновых данных. Описанные сдвиги обычно встречаются только на определенных территориях и еще хуже, с неизвестным ареалом распространения. Инструменты анализа ГИС программ не в состоянии подвергать к фильтрациям сдвиги (спектральные шумы), с целью исключения описанного недостатка, каждое государство подходит к этому индивидуально, исходя из особенностей своей государственной территории. Пример показан на рис. 1, где видно, что формы спектров довольно последовательны, но амплитуды значительно различаются в зависимости от особенностей территории, что наблюдается в сдвиге спектра волн [3].

По этой причине возможности метода дистанционного зондирования Земли для геологических целей используются в нашей стране с малой эффективностью.

Главной особенностью данного исследования является повышение надежности геоинформационных систем для проведения автоматического анализа с такой эффектив-

Спектральные каналы и область их применения

Спектрлік арналар және оларды қолдану саласы

Spectral channels and their field of application

Таблица 1

Кесте 1

Table 1

Наименование спектрального канала и область его применения, мкм	Применение спутниковой информации в дистанционном зондировании Земли
Видимый сине-фиолетовый 0,42-0,55	Данный спектр используется при проведении атмосферных коррекций данных ДЗЗ, при определении некоторых видов озеленения.
Видимый синий 0,45-0,52	В этой зоне хорошо разделяются структурные горные породы.
Видимый зеленый 0,52-0,60	Зона максимально отличает здоровую растительность, также используется для составления карт концентрации наносов и осадков в мутных водах.
Видимый красный 0,63-0,69	Данная зона помогает различать множество разновидностей растений. Также используется для определения границ почв и геологического оконтуривания (залежей, рудного тела, нефтяных полей).
Ближний инфракрасный 0,76-0,90	Зона полезна для идентификации почв, оценки урожайности, а также для определения береговых линий водных объектов на местности.
Коротковолновый инфракрасный 1,55-2,50	Зона чувствительна к содержанию воды в растительности и почвах.
Тепловой инфракрасный 10,40-12,50	Используется для определения интенсивности теплоты объектов.
Тепловой инфракрасный участок, коротковолновый инфракрасный 2,08-2,35	Данная зона важна для выделения границ почв, а также степени увлажненности почв и растительности.

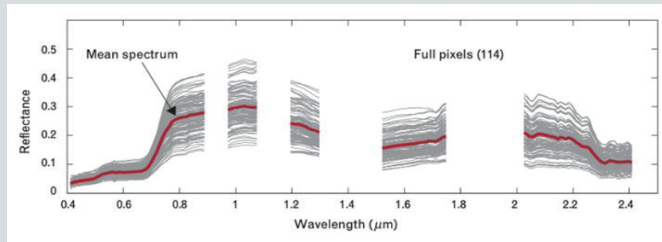


Рис. 1. Изменчивость спектров отражения, измеренных для нескольких экземпляров одного и того же наземного материала.

Сурет 1. Бір жердегі материалдың бірнеше даналары үшін өлшенген шағылысу спектрлерінің өзгерістігі.

Figure 1. Variability of reflection spectra measured for several instances of the same terrestrial material.

ностью, чтобы за короткий период было возможным проводить обработку больших наборов данных, тем самым повысив надежность и скорость обнаружения наземных интересующих объектов.

Для решения подобных задач предусматривается изучать источник природы каждого спектра, опираясь на географию, климат и другие данные, влияющие на отражающие факторы спектра волн. Необходимо глубоко изучать особенности отражающей способности горных пород исходя из химической, минералогической и других особенностей и проводить анализ данных, более глубоко изучать каждый спектр индивидуального, независимого от остальных сотен сопутствующих спектров в наборе данных. Для индивидуализации сопутствующих спектров волн (шумов), исходящих из основного минерального состава, необходимо проводить полевые спектрометрические измерения на местах уже разведанных и разрабатываемых участков месторождений и полезных ископаемых [4].

Целью таких полевых спектрометрических измерений являются выявления разницы спектральных данных, полученные инструментами анализа геоинформационных систем и результатами полевых измерений, спектральные отклонения в результате дают возможность с высокой вероятностью идентифицировать материалы. Индивидуальные поправочные данные (спектральные шумы) создают условия для создания базы данных спектров или называемой в мире библиотекой спектров.

Особенностью исследования является то, что при сравнении с известными спектральными данными отраженных от материала, выбранного в качестве эталона и полученные при анализе, образуются посторонние шумы (отклонения спектра), которые предполагаются характерными только для данного материала, образуемые под влиянием различных факторов. Это связано с особенностью поглощения, отражения или рассеивания света для каждого химического элемента и является главной индивидуальной информацией о материале. Индивидуальность обусловлена изменением интенсивности излучения в зависимости от длины волны в узком интервале способности материала поглощать или рассеивать. Данную индивидуальность будем считать главным оценочным признаком поглощения.

Характеристики оценочного поглощения уникальны для конкретных материалов по форме (изменение интенсивности в зависимости от длины волны в узком интервале) и обычно сосредоточены в ограниченных диапазонах длин волн в зависимости от типа поглощения. Между оценочными признаками находятся промежуточные переходные спектры волн, которые содержат мало информации, но считаются специфично для каждого интересующего материала. Поэтому внимание следует сосредоточить на оценочных характеристиках при анализе природных сцен, которые имеют решающее значение, поскольку смеси спектров распространены в естественной среде и препятствуют простому сопоставлению спектров.

При данных исследованиях необходимо учесть следующие факторы: некоторые материалы имеют спектры с менее интенсивными и/или второстепенными характеристиками поглощения в дополнение к более сильному оценочному поглощению. Поглощение материала можно обнаружить, если содержание определенного материала в породе достаточно велико. Однако более слабые поглощения могут быть скрыты поглощениями других материалов или могут быть слишком слабыми, чтобы их можно было обнаружить при низких содержаниях материала, не пренебрегая малейшими признаками и провести оценку дополнительно многократно, при этом сосредоточить усилия на смещенных сигналах для расслоения слабых сигналов на дополнительные спектры волн.

При анализе должны учитывать и другие признаки обнаружения предполагаемых материалов, если по дополнительным признакам будет считаться, что вероятность обнаружения определенных полезных ископаемых имеется, то тогда усилия исследования направить на изучение спектра излучаемого в виде смещенных или слабых сигналов с целью обнаружения малейших признаков полезного компонента в спектре волн. Предположение строится по наличию других характеристик и обнаруженных признаках в спектре информации, что дает возможность идентифицировать необходимый материал. В случае, если показатели спектра волн близки к нулю, тогда необходимо считать, что в изучаемом районе нужных горных пород нет [5].

Используемые подходы к анализу дистанционного зондирования, основанные на данных спектрального изображения, базируются на статистических методах, использующих большое количество выборок и сравнения с имеющимися эталонными базами данных. Но с повышением мощности компьютерной техники и впоследствии совершенствованием программных средств значительно увеличилась информативность обрабатываемого спектра полос на порядок.

Сам по себе набор полученных спектральных данных не дает возможность детализировать отдельные конкретные химические и другие элементы горных пород и других объектов местности. Существующие технологии, используя известный набор данных, проводя фильтрацию, могут дать информацию об определенном объекте в том случае, если исходящие от него сигналы стабильные и без примесей. Такая методика ограничивает возможность использования современной технологии дистанционного зондирования Земли на более широком уровне. Это

связанно с тем, что необходимо иметь дополнительные данные о природе полос спектра, исходящих от объектов. Так как инструменты анализа обнаруженных определенных сигнатур могут классифицироваться по-разному, это снижает доверие к результату анализа. Для выяснения природы спектральных несоответствий и посторонних шумов, необходимо проводить работу параллельно способом камерального анализа и выездом в поле (полевые спектрометрические измерения) [6].

Совместная обработка результатов полевого спектрометрического измерения и геоинформационных систем позволяет обнаруживать отклонения спектра от эталонного, без выясненных причин. Для выявления причины отклонения необходимо основное внимание направить на определение химической, минералогической, климатической природы каждого спектрального отклонения от остальных сотен (тысяч) сопутствующих спектров в наборе данных, то есть главное усилие необходимо направить на изучение особенности данного явления.

Для проведения анализа спектральных показателей различных химических элементов следует в полной мере использовать существующие библиотеки спектральных данных (база эталонных данных) в мире и имеющихся у нас в стране. Основное внимание требуется сосредоточить на обнаружение горных пород и залежей полезных ископаемых с помощью спектроскопических измерений в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, которое будет давать основную информацию для изучения возникновения природы явлений, в виде отклонений и шумов. В зависимости от результатов исследования, при точном диагнозе причин, можно выйти на следы, влияющие на достоверность идентификации интересующих объектов [7].

Однако следует учитывать, что имеются и другие факторы, влияющие на природу спектра волн, они включают в себя нечто большее, чем описано выше. Туда можно отнести и возможные недостатки используемых программных средств, и стандартные технологии метода дистанционного зондирования Земли, что порождает дополнительное исследование по изучению алгоритма анализа геоинформационных систем, туда входят и методики обобщения программных средств, изучение решаемых прикладных задач системой, в том числе алгоритм управления и анализа данных. Есть вероятность, что в ходе выявления причины несвойственных спектральных отклонений могут возникнуть и другие причины, которые могут выйти за рамки исследования, что дает необходимость изучения возникших явлений с другим подходом и может стать темой другого исследования. Независимо от возникающих ситуаций, все усилия будут сосредоточены на идентификации материалов.

Пренебрегая частями спектра или другими сопутствующими явлениями, не имеющими отношения к химическому составу эталонного материала, мы уменьшаем шум или помехи. Следствием этого является возможность регулярно обнаруживать присутствие не только интересующего объекта, но и влияние многих и других материалов в спектре [8].

Например, в ходе предварительных лабораторных исследований в наших условиях выявлено, что ключевые спектральные особенности оксидов железа находятся в видимой области спектра, тогда как глинистые минералы

демонстрируют диагностические характеристики в диапазоне от 2 до 2,5 микрон. Из результатов полученных предварительных данных выяснено, что наличие нескольких материалов может ослабить силу их спектральных характеристик по сравнению с эталонными данными спектра определенного материала, но показывает, что их базовые стандартные характеристики спектра не смешиваются друг с другом. Исходя из этого, в дальнейшем исследования должны быть направлены на использование методов поэтапного удаления сначала одних длин волн, потом и последующих в зависимости от отражения и поглощения, пока не останутся волны по характеристикам близкие к интересующим объектам, которые в процессе будут подвергаться тщательному анализу. Это позволяет провести конкретное сравнение каждого отдельного спектра со спектральной библиотекой [9].

Следующим объектом изучения являются объекты при опознаваниях, когда материалы по химическому составу разные, но по составу спектрально схожи. В данном случае предполагается, что идентификационные признаки материалов, имеющих в базах данных, внешне схожи, но могут отличаться по шумам спектра, так как химический состав объектов различается, и усилия должны направляться к поиску обнаружения разницы в спектральных отклонениях. Обнаруженные шумы при детальном изучении могут дать информацию об индивидуальности искажения для каждого объекта отдельно [10].

При дальнейшем изучении спектральных особенностей различных минералов, химических веществ и полезных ископаемых решаются следующие задачи:

- *уменьшение влияние двусмысленности определения, используя вспомогательную спектральную информацию;*
- *разрешение неоднозначностей, связанных с родственными минералами, которые имеют схожие спектральные диагностические характеристики;*
- *пополнение библиотеки спектральных данных результатами, выявленными в ходе исследования с учетом географической особенности Республики Казахстан;*
- *по результатам совместного анализа, данные, полученные в полевых условиях и в результате обработки данных дистанционного зондирования в программном средстве, будут получены спектральные почерки на горные породы и на районы полезных ископаемых;*
- *разработка методики использования дистанционного зондирования Земли для геологоразведочных целей.*

Заключение

Опираясь на спектральные характеристики, можно получить информацию о горных породах. При решении задач необходимо исходить из следующих факторов: породы подразделяются на осадочные, магматические и метаморфические типы в зависимости от процесса их образования, используя отличительные спектральные характеристики и информацию о текстуре горных пород, идентифицировать вид залежей, при этом изучить особенности растительного покрова в зависимости от геологической особенности почвы. Анализ данных в конечном итоге создает условия для выявления спектральных особенностей наземных объектов, горных пород, свойственных на-

шему географическому расположению на поверхности Земли [11].

Полученные результаты дают геологам дополнительные возможности с более высокой вероятностью

обнаруживать и оценивать места скопления необходимых ископаемых, выявлять более перспективные районы и повышать эффективность геологоразведочных работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нимрод Кармон. Унифицированная топографическая и атмосферная коррекция для дистанционной спектроскопии изображений. / Нимрод Кармон, Александр Берк, Никлас Бон, Филип Грегори Бродрик, Ольга Калашикова, Хай Нгуен, Дэвид Рэй Томпсон, Майкл Термон. // *Front. Remote Sens.* 2022. Т. 3 (на английском языке)
2. Шаньшань Ван. Выявление и картирование измененных минералов с использованием гиперспектральных данных HySpex с борта самолета и алгоритма случайного леса. / Шаньшань Ван, Кефа Чжоу, Цзиньлинь Ван, Цзе Чжао. // *Earth Sci.* 2022. Т. 10 (на английском языке)
3. Сонгель Полат. Новый метод классификации, основанный на правилах, с использованием свойств спектральных кривых, основанных на форме. / Сонгель Полат, Ален Тремо, Фрэнк Бучс. // *Журнал спектроскопии.* 2022 (на английском языке)
4. Юкиэ Асано. Геологическое картирование по тепловой инерции, полученное на основе долгосрочных максимальных и минимальных температур в данных ASTER. / Юкиэ Асано, Ясуси Ямагути, Синсукэ Кодама. // *Ежеквартальный журнал инженерной геологии и гидрогеологии.* 2022. Т. 56 (1) (на английском языке)
5. Рупса Чакраборти. Поиск полезных ископаемых на основе биогеохимической и геологической информации с использованием гиперспектрального дистанционного зондирования – технико-экономическое обоснование и проблемы. / Рупса Чакраборти, Габор Керестури, Редди Пуллангари, Патриция Дюранс, Салман Ашраф, Крис Андерсон. // *Журнал геохимических исследований.* 2021. Т. 232. Ст. №106900 (на английском языке)
6. Хришикеш Кумар. Моделирование положения поглощения по длине волны с использованием ковариационно-взвешенной инверсии наименьших квадратов». / Хришикеш Кумар, Д. Рам Раджак. // *Достижения в космических исследованиях.* 2022. Т. 73. Вып. 2. С. 1252-1261 (на английском языке)
7. Гаурав Мишра. Сравнительная оценка гиперспектральных данных бортового AVIRIS-NG и космического PRISMA при идентификации и картировании измененных/выветренных минералов в Джахазпуре, Раджастхан. / Гаурав Мишра, Химаншу Говил, Ариндам Гуха, Хришикеш Кумар, Шаши Кумар, Судипта Мукерджи. // *Успехи космических исследований.* 2024. Т. 73. Вып. 2. С. 1459-1474 (на английском языке)
8. Суканта Рой. Автоматизированное крупномасштабное картирование минерализованного пояса Джахазпур с помощью модели Map Reduce с интегрированным методом ELM. / Суканта Рой, Сатадру Бхаттачарья, Суббарамаджойс Нарасипур Омкар. // *Журнал фотограмметрии, дистанционного зондирования и геоинформатики.* 2022. Т. 90. С. 191-209 (на английском языке)
9. Мин Се. Экспериментальный анализ ультрафиолетовой визуализации масляной пленки на поверхности воды: значение оптимального диапазона для обнаружения масляной пленки с использованием ультрафиолетовой визуализации. / Мин Се, Ин Л. Архивы загрязнения окружающей среды и токсикологии. 2022. Т. 83 (1). С. 109-115 (на английском языке)
10. Маттиас Линен. Библиотека почвенных спектров среднего инфракрасного диапазона на базе LUCAS: ее полезность для исследования почвы и точного земледелия. / Маттиас Линен, Стефан Петцольд, Гергели Тот, Герхард Велп. // *Журнал «Питание растений и почвоведение.* 2022. Т. 185. Вып. 3. С. 370-383 (на английском языке)
11. Сонгель Полат. Комбинированное использование 3D и HSI для классификации компонентов печатных плат. / Сонгель Полат, Ален Тремо, Фрэнк Бучс. // *Прикладная наука.* 2021. Т. 11 (18). Ст. №8424 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Нимрод Кармон. Қашықтықтан бейнелеу спектроскопиясы үшін бірыңғай топографиялық және атмосфералық түзету. / Нимрод Кармон, Александр Берк, Никлас Бон, Филип Григорий Бродрик, Ольга Калашикова, Хай Нгуен, Дэвид Рэй Томпсон, Майкл Термон. // *Remote Sens.* 2022. Т. 3 (ағылшын тілінде)
2. Шаншань Ван. Ұшақ бортындағы гиперспектральды HySpex деректерін және кездейсоқ орман алгоритмін қолдана отырып, өзгертілген минералдарды анықтау және картаға түсіру. / Шаншань Ван, Кефа Чжоу, Цзинлинь Ван, Цзе Чжао. // *Earth Sci.* 2022. Т. 10 (ағылшын тілінде)
3. Сонгель Полат. Формаға негізделген спектрлік қисықтардың қасиеттерін қолдана отырып, ережеге негізделген жіктеудің жаңа әдісі. / Сонгель Полат, Ален Тремо, Фрэнк Бучс. // *Спектроскопия журналы.* 2022 (ағылшын тілінде)

4. Юкиэ Асано. ASTER деректеріндегі ұзақ мерзімді максималды және минималды температурадан алынған жылу инерциясының геологиялық картасы. / Юкиэ Асано, Ясуши Ямагучи, Шинсуке Кодама. Инженерлік геология және гидрогеология тоқсан сайынғы журналы. 2022. Т. 56 (1) (ағылшын тілінде)
5. Рупса Чакраборти. Гиперспектральды қашықтықтан зондтауды қолдана отырып, биогеохимиялық және геологиялық ақпараттан пайдалы қазбаларды іздеу – техникалық-экономикалық негіздеме және мәселелер. / Рупса Чакраборти, Габор Керестури, Редди Пуллангари, Патрисия Дюранс, Салман Ашраф, Крис Андерсон. // Геохимиялық зерттеулер журналы. 2021. Т. 232. Мақ. №106900 (ағылшын тілінде)
6. Хришикеш Кумар. Ең кіші квадраттардың ковариациялық өлшенген инверсиясын қолдана отырып, толқын ұзындығын сіңіру позициясын модельдеу. / Хришикеш Кумар, Д. Рам Раджак. // Ғарыштық зерттеулердегі жетістіктер. 2022. Т. 73. Шығ. 2. Б. 1252-1261 (ағылшын тілінде)
7. Гаурав Мишра. Джахазпур, Раджастхандағы өзгертілген/тозған минералдарды анықтау және картаға түсіру кезінде әуе-NG және ғарыштық призманың гиперспектрлік деректерін салыстырмалы бағалау. / Гаурав Мишра, Химаншу Говил, Ариндам Гуха, Хришикеш Кумар, Шаши Кумар, Судипта Мукерджи. // Ғарыштық зерттеулердің жетістіктері. 2024. Т. 73. Шығ. 2. Б. 1459-1474 (ағылшын тілінде)
8. Суканта Рой. ЕІМ интеграцияланған әдісімен Map Reduce моделі арқылы Джахазпур минералданған белдеуін автоматтандырылған ауқымды картаға түсіру. / Суканта Рой, Сатадру Бхаттачария, Суббарамаджойс Нарасипур Омкар. // Фотограмметрия, қашықтықтан зондтау және геоинформатика журналы. 2022. Т. 90. Б. 191-209 (ағылшын тілінде)
9. Мин Се. Су бетіндегі майлы пленканы ультракүлгін сәулеленуді эксперименттік талдау: ультракүлгін сәулеленуді қолдана отырып, май пленкасын анықтаудың оңтайлы диапазонының мәні. / Мин Се, Ин Ли. // Қоршаған ортаның ластануы және токсикология мұрағаты. 2022. Т. 83 (1). Б. 109-115 (ағылшын тілінде)
10. Маттиас Линен. LUCAS негізіндегі орта инфрақызыл топырақ спектрлерінің кітапханасы: оның топырақты зерттеу және дәл егіншілік үшін пайдалылығы. / Маттиас Линен, Стефан Петцольд, Гергели Тот, Герхард Велп. // Өсімдіктерді тамақтандыру және топырақтану журналы. 2022. Т. 185. Шы. 3. Б. 370-383 (ағылшын тілінде)
11. Сонгель Полат. ПХД компоненттерін жіктеу үшін 3D және HSI комбинациясын қолдану. / Сонгель Полат, Ален Тремо, Фрэнк Бучс. Қолданбалы ғылым. 2021. Т. 11 (18). Мақ. №8424 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Nimrod Karman. Unified topographic and atmospheric correction for remote image spectroscopy. / Nimrod Karman, Alexander Berg, Nicholas Bon, Philip Gregory Brodrick, Olga Kalashnikova, Hai Nguyen, David Ray Thompson, Michael Thermon, Front. // Remote Sens. 2022. Vol. 3 (in English)
2. Shanshan Wang. Identifying and Mapping Alteration Minerals Using HySpex Airborne Hyperspectral Data and Random Forest Algorithm Front. / Shanshan Wang, Kefa Zhou, Jinlin Wang, Jie Zhao. // Earth Sci. 2022. Vol. 10 (in English)
3. Songel Polat. A New Rule-Based Classification Method Using Shape-Based Properties of Spectral Curves. / Songel Polat, Alain Tremeau, Frank Boochs. // Journal of Spectroscopy. 2022 (in English)
4. Yukie Asano. Geological thermal inertia mapping based on long-term maximum and minimum temperatures in ASTER data. / Yukie Asano, Yasushi Yamaguchi, Shinsuke Kodama. // Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. 2022. Vol. 56 (1) (in English)
5. Rupsa Chakraborty. Mineral exploration based on biogeochemical and geological information using hyperspectral remote sensing – Feasibility study and Problems. / Rupsa Chakraborty, Gabor Keresturi, Reddy Pullangari, Patricia Durance, Salman Ashraf, Chris Anderson. // Journal of Geochemical Research. 2021. Vol. 232. Art. №106900 (in English)
6. Hrishikesh Kumar. Wavelength absorption position modeling using covariance-weighted least squares inversion. / Hrishikesh Kumar, D. Ram Rajak. // Advances in space research. 2022. Vol. 73. Issue 2. P. 1252-1261 (in English)
7. Gaurav Mishra. Comparative evaluation of hyperspectral data from AVIRIS-NG and space PRISMA in the identification and mapping of altered/weathered minerals in Jahazpur, Rajasthan. / Gaurav Mishra, Himanshu Govil, Arindam Guha, Hrishikesh Kumar, Shashi Kumar, Sudipta Mukherjee. // Achievements in Space Research. 2024. Vol. 73. Issue 2. P. 1459-1474 (in English)
8. Sukanta Roy. Automated Large-Scale Mapping of the Jahazpur Mineralised Belt by a MapReduce Model with an Integrated ELM Method. / Sukanta Roy, Satadru Bhattacharya, Subbaramajous Narasipur Omkar. // Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformatics. 2022. Vol. 90. P. 191-209 (in English)

9. Min Xie. *Experimental analysis of ultraviolet imaging of an oil film on the surface of water: the value of the optimal range for detecting an oil film using ultraviolet imaging.* / Min Xie, Ying Li. // *Archives of Environmental Pollution and Toxicology*. 2022. Vol. 83 (1). P. 109-115 (in English)
10. Matthias Linen. *LUCAS-based library of mid-infrared soil spectra: its usefulness for soil research and precision agriculture.* / Matthias Linen, Stefan Petzold, Gergely Toth, Gerhard Welp. // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2022. Vol. 185. Issue 3. P. 370-383 (in English)
11. Songel Polat. *Combined use of 3D and HSI for PCB component classification.* / Songel Polat, Alain Tremeau, Frank Buchs. // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. Issue 18. Art. №8424 (in English)

Сведения об авторах:

Капасова А.З., к.т.н., асс. профессор кафедры «Геодезии и картографии» «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина» (г. Астана, Казахстан), kapasova_77@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5523-2413>

Талерчик М.П., к.т.н., ст. преподаватель кафедры «Геодезии и картографии» «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина» (г. Астана, Казахстан), mar-aru@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-7036-2271>

Маусымбеков Е.Ж., ст. преподаватель кафедры «Геодезии и картографии» «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина» (г. Астана, Казахстан), m.e.g_65@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0009-5923-8295>

Авторлар туралы мәліметтер:

Капасова А.З., т.ғ.к., асс. «Геодезия және картография» кафедрасының профессоры, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» (Астана қ., Қазақстан)

Талерчик М.П., т.ғ.к., «Геодезия және картография» кафедрасының аға оқытушысы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» (Астана қ., Қазақстан)

Маусымбеков Е.Ж., «Геодезия және картография» кафедрасының аға оқытушысы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» (Астана қ., Қазақстан)

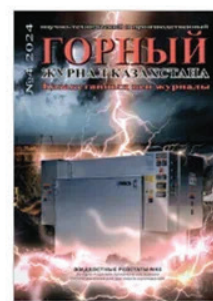
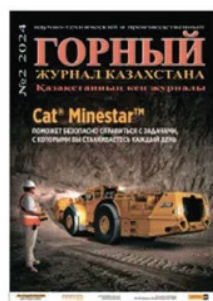
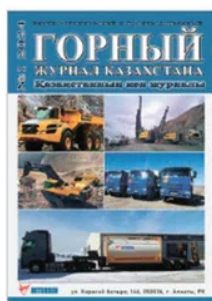
Information about the authors:

Kapasova A.Z., Candidate of Technical Sciences, ass. Professor of the Department of Geodesy and Cartography «Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin» (Astana, Kazakhstan)

Talerchik M.P., Candidate of Technical Sciences, senior lecturer of the Department of Geodesy and Cartography «Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin» (Astana, Kazakhstan)

Mausymbekov E.J., Senior lecturer of the Department of Geodesy and Cartography «Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin» (Astana, Kazakhstan)

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА



ПОДПИСКА' 2025 РЕКЛАМНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОТРУДНИЧЕСТВО

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

Код МРНТИ 52.47.31

*А.А. Мельдешов¹, А.К. Абишева², М.М. Матаев¹
¹НАО «КазНацЖенПУ» (г. Алматы, Казахстан),
²НАО «КазНУ им. аль-Фараби» (г. Алматы, Казахстан)

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА И ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Аннотация. Изучено превращение н-бутана на активированном Кынграком бентоните, содержащем нанесенный рутений. Совместное присутствие водяного пара с н-бутаном в реакционной зоне уменьшает коксообразование на поверхности катализатора и способствует увеличению выхода изооктана. В данной статье приведены исследования изомеризации н-бутана на рутениевых катализаторах, нанесенных на Кынгракский бентонит, где преобладающим минералом является монтмориллонит. Совместное присутствие водяного пара с н-бутаном в реакционной зоне снижает коксообразование на поверхности катализатора и способствует увеличению выхода изооктана. Изомеризация н-бутана и н-пентана в соответствующий изобутан и изопентан является значимой реакцией в получении алкилбензинов и оксигенатов.

Ключевые слова: изомеризация, катализатор, коксообразование, кокс, смолистые вещества, поверхность катализатора, гравиметрия, изомеризация, монтмориллонит.

Отандық бентониттегі алкандар изомеризациясы

Андатпа. Қ-бутанның құрамында рутений бар белсендірілген Қыңғырақ бентонитіне айналуы зерттелді. Реакция аймағында су буының қ-бутанмен бірге болуы катализатор бетіндегі кокстың түзілуін азайтады және изооктан шығымдылығының артуына ықпал етеді. Бұл мақалада монтмориллонит басым минерал болып табылатын Қыңғырақ бентонитіне қолданылатын рутений катализаторларындағы қ-бутанның изомерленуі туралы зерттеулер келтірілген. Реакция аймағында су буының қ-бутанмен бірге болуы катализатор бетіндегі кокстың түзілуін азайтады және изооктан шығымдылығының артуына ықпал етеді. Қ-бутан мен н-пентанның сәйкес изобутан мен изопентанға изомерленуі алкилбензиндер мен оксигенаттарды өндіруде маңызды реакциялар болып табылады.

Түйінді сөздер: изомерлену, катализатор, кокс түзілу, кокс, шайырлы заттар, катализатор беті, гравиметрия, изомерлену, монтмориллонит.

Isomerization of alkanes on domestic bentonite

Abstract. The transformation of n-butane on activated Kyngrak bentonite containing deposited ruthenium has been studied. The combined presence of water vapor with n-butane in the reaction zone reduces coke formation on the surface of the catalyst and increases the yield of iso-octane. This article presents studies of the isomerization of n-butane on ruthenium catalysts deposited on Kyngrak bentonite, where montmorillonite is the predominant mineral. The combined presence of water vapor with n-butane in the reaction zone reduces coke formation on the surface of the catalyst and increases the yield of iso-octane. The isomerization of n-butane and n-pentane into the corresponding isobutane and isopentane are significant reactions in the production of alkylbenzenes and oxygenates.

Key words: isomerization, catalyst, coke formation, coke, resinous substances, catalyst surface, gravimetry, isomerization, montmorillonite.

Введение

Научная новизна данной работы заключается в выявлении и установлении закономерностей взаимодействия легких углеводородов C_4-C_6 состава с каталитической системой, содержащей металлы VIII группы, нанесенных на Кынгракский бентонит со столбчатой структурой. В данной работе впервые:

- на основе адсорбционных и электрокинетических характеристик нанесенной системы рекомендуется возможность прогнозирования их взаимосвязи с каталитическими свойствами;

- установлены влияния размера частиц металла и соотношения кислотных центров поверхности на характер протекания изомеризации, дегидро-гидрогенизации, крекинга и алкилирования C_4-C_6 углеводородов в образовании высокооктановых компонентов моторных топлив;

- выявлено, что присутствие в реагируемой системе водорода водяного пара способствует изменению окислительно-восстановленных форм металла, формированию новых фаз и возникновению нестационарности поверхности при нефтехимическом превращении, кажущаяся стационарным с макроскопической точки зрения;

- установлены влияния дисперсности активного металла на изомеризацию, крекинг и алкилирование легких углеводородов.

Практическая значимость данной работы заключается в создании современных безотходных технологий переработки природных, попутных газов нефти и нефтепереработки, поиском рациональных путей их использования для получения высокооктановых компонентов моторных топлив – алкилбензинов. Для этих процессов разработа-

ны нанесенные катализаторы на основе металлов рутения, родия с использованием в качестве носителя модифицированных алюмосиликатов со слоисто-столбчатой структурой. В этом отношении, полученные экспериментальные данные данной работы позволяют целенаправленно подходить к нефтехимическому превращению углеводородов в присутствии каталитических систем.

Специфика добычи попутного нефтяного газа (ПНГ) состоит в том, что он является побочным продуктом нефтедобычи. По геологическим характеристикам различают газ газовых шапок и газ, растворенный в нефти. ПНГ представляет собой смесь газо- и парообразных углеводородных и неуглеводородных компонентов, выделяющихся из нефтяных скважин и из пластовой нефти при ее разгазировании. Изомеризация н-бутана и н-пентана в соответствующий изобутан и изопентан являются промышленно важными реакциями в процессе получения алкилбензинов и оксигенатов [1].

Основными компонентами попутных нефтяных газов являются углеводороды от метана до гексана, включая изомеры C_4-C_6 . Неуглеводородные компоненты попутных нефтяных газов могут быть представлены азотом, углекислым газом, гелием, аргоном, а также сероводородом, количество которого достигает иногда нескольких процентов, в ряде случаев встречается водород [2].

Одним из важных направлений нефтехимической отрасли является повышение глубины переработки нефти, развитие эффективной технологии нефтехимического синтеза и получение высокооктановых компонентов моторных топлив. Каталитические реакции лежат в основе современных производств химической промышленности.

В настоящее время попутные нефтяные газы и отходящие газы нефтепереработки рационально не используются, большая часть их сжигается в факелах, нанося ощутимый вред окружающей среде. Кроме того, возрастающая потребность в моторном топливе и в углеводородном сырье при необходимости строжайшей экономики энергии и природных энергоносителей и борьбы с экологическими нарушениями, ставит задачи целенаправленного использования сопутствующих газов нефти. Одним из путей решения проблемы является получение алкилбензинов и алкилоксигенатов из легких углеводородов в присутствии катализаторов. В связи с этим, получения высокооктановых компонентов моторных топлив в присутствии имеющихся каталитических систем и их совершенствования приобретают актуальность в превращении легких алканов C_4-C_6 состава [3].

Изомеризация указанных алканов обычно протекает при 300-500 °С в присутствии катализаторов. Катализаторами изомеризации нового поколения являются сверхкислотные системы типа SO_4^{2-}/ZrO_2 и гетерополикислоты. Важно отметить, что скелетная изомеризация алканов, которая не катализируется концентрированной серной кислотой, протекает в присутствии сверхкислот SO_4^{2-}/ZrO_2 , SO_4^{2-}/TiO_2 или SO_4^{2-}/Fe_2O_3 при комнатной температуре [4].

Однако сверхкислоты отличаются повышенным коксообразованием при каталитических превращениях углеводородов, что приводит к быстрой потере активности катализаторов. В этой связи, разработка активных и стабильных катализаторов изомеризаций, обладающих сверхкислотными свойствами, является актуальной.

Методы исследования, результаты

Отличительной особенностью монтмориллонита по сравнению с другими слоистыми минералами является ярко выраженная способность набухать в воде. Молекулы воды располагаются в межпакетном пространстве и раздвигают пакеты. При этом величина межпакетного расстояния вдоль оси «с» кристаллической решетки может изменяться в весьма широких пределах в зависимости от содержания молекул воды в межслоевом пространстве [3]. В этой связи, для модифицирования и активации, согласно [4], Кынгракский бентонит подвергался обработке $IM H_3PO_4$ при температуре ~ 363 К в течение 6 ч. Получен-

ная масса отделялась от жидкой фазы, паста формовалась в червяки диаметром 3 мм, которые сушились в течение 8 ч. при 413 К и в дальнейшем 4 ч при 573 К. Полученные цилиндрики диаметром ~ 3 мм и длиной ~ 5 мм пропитывались водным раствором гидроксихлорида рутения $Ru(OH)Cl_3 \cdot 4H_2O$ в пересчете на рутений ~0,5 масс.%. При пропитке раствором гидроксохлорида рутения в систему добавлялся формалин для восстановления соединений рутения при температуре 275-278 К из расчета 5-6 мл его на 1 г металла.

Таким образом, приготовленная нанесенная система сушилась при 413 К. До восстановления катализатора проводилось водородом (100 см³/мин) непосредственно в реакторе, представляющим собой кварцевую трубку, длиной 500 мм и диаметром 20 мм при 573 К в течение 4 ч. Эксперименты проводились на модернизированной установке, предложенной Шполянским и Лихачевым [5].

Установка предусматривает подачу в реактор как газообразных, так и жидких веществ. Выходящая из реактора парогазовая смесь охлаждалась водяными холодильниками. Конденсат накапливался в приемнике, а газообразные продукты собирались в цилиндрическом газометре над насыщенным раствором поваренной соли. Газообразные и жидкие продукты анализировались методом ГЖХ на хроматографе Chrom-5. Инфракрасные спектры поглощения снимались на спектрометре Perkin-Elmer 4A в институте катализа СО РАН (г. Новосибирск). Образцы (2 мг) запрессовались в CsI (800 мг).

Масса кокса и смолистых веществ на поверхности катализатора определялись гравиметрией. Результаты превращения n-бутана на естественных образцах и на нанесенных системах, содержащих рутений, сведены в табл. 1.

Естественный Кынгракский бентонит без кислотной обработки не проявляет каталитическую активность. При использовании нанесенного рутения на образец №2, конверсия n-бутана возрастает в два раза и выход изооктана в три раза, по сравнению с бентонитом без содержания рутения.

В следующей серии опытов изучали влияние температуры и объемной скорости подачи n-бутана на 0,5%Ru/образец 2. Результаты полученных данных сведены в табл. 2.

Из данных табл. 2 следует, что для образования продуктов олигомеризации – изооктана нежелательно повышение тем-

Таблица 1

Результаты превращения n-бутана

Кесте 1

Қ-бутанның түрлену нәтижелері

Table 1

Results of n-butane conversion

$T = 473 \text{ K}, V_{n\text{-бутан}} = 600 \text{ ч}^{-1}$

Образец	Конверсия n-бутана, %	Выход, масс.%			
		$i C_4H_{10}$	$i C_4H_8$	$i C_8H_{18}$	Кокс и другие
Естественный	2,0	-	-	-	2,0
Образец №1	7,0	2,0	2,0	1,0	1,0
Образец №2	9,0	3,0	3,0	2,0	1,0
0,5%Ru/образец №2	18,0	5,0	4,0	6,0	3,0

Таблица 2

Результаты превращения *n*-бутана при различных температурах и объемной скорости подачи процесса на 0,5%Ru/образец 2

Кесте 2

0,5%Ru/үлгідегі 2 процестің көлемдік шығыны мен әртүрлі температураларда қ-бутанды түрлендіру нәтижелері

Table 2

Results of the conversion of *n*-butane at various temperatures and volumetric flow rates of the process at 0.5%Ru/sample 2

V, ч ⁻¹	T, К	Конверсия <i>n</i> -бутана, %	Выход, масс. %			
			<i>i</i> C ₄ H ₁₀	<i>i</i> C ₄ H ₈	<i>i</i> C ₈ H ₁₈	Кокс и другие
600	373	5,0	1,0	1,0	3,0	-
	423	10,0	2,0	2,0	6,0	1,0
	473	18,0	5,0	4,0	6,0	3,0
	523	24,0	10,0	5,0	5,0	4,0
	573	28,0	10,0	5,0	5,0	8,0
900	373	6,0	1,0	1,0	3,0	1,0
	423	14,0	3,0	4,0	7,0	2,0
	473	26,0	8,0	5,0	8,0	5,0
	523	30,0	10,0	6,0	8,0	6,0
	573	32,0	12,0	5,0	6,0	7,0
1200	373	7,0	1,0	1,0	3,0	2,0
	423	20,0	5,0	3,0	8,0	3,0
	473	28,0	10,0	4,0	9,0	4,0
	523	30,0	14,0	5,0	8,0	5,0
	573	32,0	14,0	5,0	7,0	6,0

пературы выше 473 К и, наоборот, понижение температуры благоприятствует его образованию. С повышением температуры наблюдается увеличение выхода олефинов и коксоподобной смолистой массы на поверхности катализатора. Видимо, образующиеся олефины подвергаются реакциям уплотнения, покрывая поверхность катализатора смолоподобными соединениями. Эти данные свидетельствуют о неоднородности поверхности и наличию на нем активных различных центров, которые проявляют полифункциональные свойства.

По данным, приведенным в [6], изомеризация нормальных парафинов в изопарафин происходит не непосредственно, а через стадию дегидрирования в олефины. Последние изомеризуются в изоолефины, которые в свою очередь гидрируются в соответствующие изопарафины. Стадии гидрирования-дегидрирования осуществляются на активных центрах металла, а изомеризация на кислотных центрах. В литературе имеется достаточное количество публикаций, посвященных исследованию механизма изомеризаций.

По данным [7-9], реакция протекает с участием кислотных протонных центров поверхности. Кроме того, известно, что кислотные протоны в твердом теле обладают высокой диффузионной подвижностью и при определенных условиях этот процесс оказывает существенное влияние на скорость каталитической реакции [10]. Здесь же отмечено, максимальная эффективность работы кислотных катализаторов проявляется, когда активные протоны мигрируют на поверхности и в объеме катализатора с коэффициентами диффузии, больших коэффициентов поверхностной диффузии реагирующих молекул в адсорбционном слое.

Если вероятность перехода протона в соседнее равновесное положение связана с высотой барьера, разделяющего два минимума потенциальной кривой водородной связи и определяется характеристической для каждой системы температурой, то размеры области, в которых может диффундировать протон, очевидно, должны быть связаны с наличием в системе молекул-посредников, облегчающих переход протона за счет положительных энергетических эффектов сольватации, как это следует из [10].

В [10] также отмечается, что естественной гидратирующей частицей протонов является молекула воды. В большинстве работ отмечается тормозящее действие воды, которая блокирует активные центры поверхности, а также противоположное ускоряющее действие воды. Поэтому можно полагать, что вода влияет двойственным образом в зависимости от ее состояния на гетерогенной поверхности.

Учитывая вышеизложенное, в следующей серии опытов изучали превращение *n*-бутана при совместном присутствии его с водяным паром.

Результаты, приведенные в табл. 3, указывают о положительном влиянии молекул воды до определенной концентрации.

Следует отметить, что наличие водяного пара в изучаемой системе определенным образом подавляет коксообразование и накопление смолистых веществ. По сравнению с отсутствием водяного пара при 523 К и объемной скорости его подачи 30 ч⁻¹, выход изооктана увеличивается в 2 раза. С увеличением объемной скорости подачи водяного пара конверсия *n*-бутана проходит через максимум.

Таблица 3
Превращение н-бутана в присутствии водяного пара на 0,5%Ru/образец 2

0,5%Ru/үлгі 2 Қ-бутанның түрлену нәтижелері

Кесте 3

Table 3

Conversion of n-butane in the presence of steam to 0.5% Ru/sample 2

$V_{n\text{-бутан}} = 900 \text{ ч}^{-1}$

$V_{H_2O}, \text{ч}^{-1}$	Т, К	Конверсия н-бутана, %	Выход, масс. %			
			$i \text{ C}_4\text{H}_{10}$	$i \text{ C}_4\text{H}_8$	$i \text{ C}_8\text{H}_{18}$	Кокс и другие
-	473	26	8,0	5,0	8,0	5,0
10		27	7,0	4,0	10,0	4,0
20		28	7,0	5,0	12,0	4,0
30		30,0	7,0	6,0	13,0	3,0
50		24,0	6,0	5,0	10,0	3,0
100		20,0	6,0	5,0	7,0	2,0
-	523	30	10,0	6,0	8,0	6,0
10		33	11,0	7,0	10,0	5,0
20		34	11,0	7,0	12,0	4,0
30		36	11,0	7,0	14,0	4,0
50		32	9,0	6,0	12,0	5,0
100		25	8,0	5,0	9,0	3,0
-	573	30	12,0	5,0	6,0	7,0
10		34	13,0	6,0	8,0	7,0
20		35	14,0	7,0	8,0	6,0
30		38	15,0	8,0	10,0	5,0
50		32	13,0	6,0	8,0	5,0
100		28	12,0	5,0	8,0	3,0

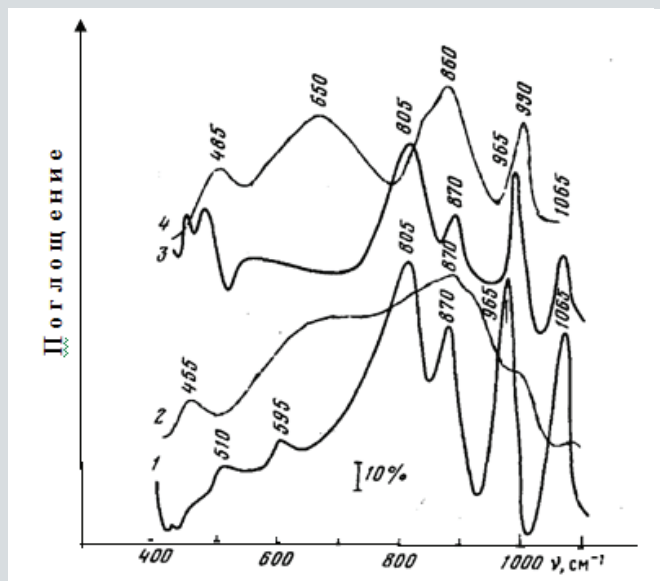
Важно отметить, что наличие молекул воды способствует превращению н-бутана в изооктан в одном цикле. Видимо на поверхности катализатора создается условие взаимодействия олефина с изомеризованным н-бутаном. Образование водорода в газообразных продуктах свидетельствует о протекании реакции дегидрирования. Полученные экспериментальные данные табл. 3 также служат в пользу данного заключения.

Подавление процесса коксообразования при превращениях легких углеводородов изучаемой работы хорошо согласуется данными в [10].

Для получения определенной информации о вероятных поверхностных соединениях или группировках снимали ИК-спектры нанесенного образца №2, содержащий рутений, а также контактов после процесса превращения н-бутана в присутствии водяного пара ($V_{H_2O} = 30 \text{ ч}^{-1}$) (рис. 1).

Из ИК-спектра (рис. 1) следует, что на поверхности 0,5%Ru/образец 2 наблюдаемые полосы поглощения, идентифицируемые нами, присущи для гетерополиоксидов (кривая 1, рис. 1). Действительно, полосы поглощения, обнаруживаемые в области 700-100 см^{-1} , хорошо совпадают со спектром гетерополиоксидов [10].

Частые полосы поглощения для естественного образца Кынгракского бентонита не наблюдаются (кривая 2, рис.1). Сравнение кривых 3 и 4 рис.1 также наводит на мысль о том, что повышение выхода изооктана в присут-



Обозначение: 1 – образец 2; 2 – естественный бентонит (монтмориллонит); 3 – 0,5%Ru/образец 2 в присутствии водяного пара; 4 – 0,5%Ru/образец 2 в отсутствие водяного пара.

Рис. 1. ИК спектры Кынгракского бентонита.
Сурет 1. Қыңырақ бентонитінің ИК спектрлері.
Figure 1. IR spectra of Kyngrak bentonite.

ствии водяного пара объясняется появлением на поверхности кислотных центров, являющихся активными местами протекания данного превращения.

Таким образом, полученные данные расширяют круг данных в области разработки катализаторов изомеризации, а также процесса синтеза изооктана.

Вывод и заключение

- установлены влияния размера частиц металла и соотношения кислотных центров поверхности на характер протекания изомеризации, дегидро-гидрогенизации, крекинга и алкилирования C_7-C_8 углеводородов в образовании высокооктановых компонентов моторных топлив;

- выявлено, что присутствие в реагируемой системе водорода водяного пара способствует изменению окислительно-восстановленных форм металла, формированию новых фаз и возникновению нестационарности поверхности при нефтехимическом превращении, кажущаяся стационарным с макроскопической точки зрения;

- установлены влияния дисперсности активного металла на изомеризацию, крекинг и алкилирование легких углеводородов.

Полученные данные расширяют круг данных в области разработки катализаторов изомеризации, а также процесса синтеза изооктана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чоркендорф И., Наймантсведрайт Х. Современный катализ и химическая кинетика: научное издание: Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2015, С. 504 (на русском языке)
2. Кравцов А.В., Ивашкина Е.Н., Юрьев Е.М. Теоретические основы каталитических процессов переработки нефти и газа: учебное пособие Национального исследовательского Томского политехнического университета: Томск: издательство Томского политехнического университета, 2015, С. 144 (на русском языке)
3. Гонсиор Н. Ионные жидкости. Современный метод синтеза, полимеризации, характеристики и применение: Дюссельдорф, 2015. С.152 (на английском языке)
4. Маликов И.В. Исследование каталитической активности иммобилизованных ионных жидкостей в реакции изомеризации *n*-гексана. / И.В. Маликов, И.С. Завалинская, Ю.П. Ясьян. // Технологии нефти и газа. 2015. №1. С. 140 (на русском языке)
5. Маликов И.В. Исследование превращений углеводородов C_5-C_6 в реакции изомеризации в присутствии катализаторов на основе иммобилизованной ионной жидкости. / И.В. Маликов, И.С. Завалинская, Ю.П. Ясьян. // Фундаментальные исследования. 2015. №2. Ч. 5. С. 935-939 (на русском языке)
6. Маликов И.В. Изомеризация легкой бензиновой фракции на иммобилизованной ионной жидкости / И.В. Маликов, И.С. Завалинская, Ю.П. Ясьян. // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2015. №4. С. 2528 (на русском языке)
7. Маликов И.В. Каталитические свойства нанесенных ионных жидкостей на основе хлорида алюминия в изомеризации *n*-гексана. / И. В. Маликов, И. С. Завалинская, Ю.П. Ясьян. / Нефтепереработка и нефтехимия. 2015. №6. С. 19-23 (на русском языке)
8. Парвулеску В.И. Катализ в ионных жидкостях / В.И. Парвулеску, Ч. Хардакре. // Chemical Reviews. 2017. ACS Publications. С. 2615-2665 (на английском языке)
9. Хуанг М.Ю. Изомеризация эндо-тетрагидродициклопентадиена на хлоралюминатных ионных жидких катализаторах на глинистом носителе / М.Ю. Хуанг, Дж.С. Ву, Ф.С. Шиеу, Дж.Дж. Лин. // Журнал молекулярного катализа А: Химия №5. 2016. С. 69-75 (на английском языке)
10. Форстьер А. Олигомеризация моноолефинов гомогенными катализаторами. /А. Форстьер, О. Оливье-Бурбигу, Л. Соссин. // Нефтегазовая наука и технология. Перед. ИФП. Т. 64 (2019). №6. С. 649-667 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Чоркендорф И., Наймантсведрайт Х. Қазіргі катализ және химиялық кинетика: ғылыми басылым: Долгопрудный: «Интеллигенция» баспасы, 2015, Б. 504 (орыс тілінде)
2. Кравцов А.В., Ивашкина Е.Н., Юрьев Е.М. Мұнай мен газды өңдеудегі каталитикалық процестердің теориялық негіздері: оқу құралы Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті: Томск: Томск политехникалық университетінің баспасы, 2015, Б. 144 (орыс тілінде)
3. Гонсиор Н. Иондық сұйықтықтар. Синтездің заманауи әдісі, полимерленуі, сипаттамасы және өтініш: Дюссельдорф, 2015, Б. 152 (ағылшын тілінде)
4. Маликов И.В. *n*-гексанның изомерлену реакциясындағы иммобилизацияланған иондық сұйықтықтардың каталитикалық белсенділігін зерттеу. / И.В. Маликов, И.С. Завалинская, Ю.П. Ясьян. // Мұнай және газ технологиялары. 2015. №1. Б. 140 (орыс тілінде)
5. Маликов И.В. Иммобилизацияланған иондық сұйықтық негізіндегі катализаторлардың қатысуымен C_5-C_6 көмірсутектерінің изомерлену реакцияларындағы түрленуін зерттеу. /

И.В. Маликов, И.С. Завалинская, Ю.П. Ясян. // Иргелі зерттеулер. 2015. №2. Бөл. 5. Б. 935-939 (орыс тілінде)

6. Маликов И.В. Жеңіл бензин фракциясының иммобилизацияланған иондық сұйықтыққа изомерленуі. / И.В. Маликов, И.С. Завалинская, Ю.П. Ясян. // Мұнай өнімдерінің әлемі. Мұнай компанияларының бюллетені. 2015. №4. Б. 2528 (орыс тілінде)
7. Маликов И.В. N-гексанның изомерленуіндегі алюминий хлориді негізіндегі тірек ионды сұйықтықтардың каталитикалық қасиеттері. / И.В. Маликов, И.С. Завалинская, Ю.П. Ясян. / Мұнай өңдеу және мұнай химиясы. 2015. №6. Б. 19-23 (орыс тілінде)
8. Парвулеску В.И. Иондық сұйықтықтардағы катализ. / В.И. Парвулеску, Ч. Хардакре. // Химиялық шолулар. ACS жарияланымдары. 2017. Б. 2615-2665 (ағылшын тілінде)
9. Хуанг М.Ю. Эндо-тетрагидродициклопентадиеннің сазды қолдайтын хлоралюминат иондық сұйық катализаторлар арқылы изомерленуі. // М.Ю. Хуанг, Дж.С. Ву, Ф.С. Шиеу, Дж.Дж. Лин. // Молекулалық катализ журналы А: Химия №5. 2016. Б. 69-75 (ағылшын тілінде)
10. Форстьер А. Біртекті катализаторлар арқылы моноолефиндердің олигомерленуі. / А. Форстьер, О. Оливье-Бурбигу, Л. Соссин. // Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP. 2019. Т. 64. №6. Б. 649-667 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Chorkendorf I., Naimantsvedrait Kh. *Sovremennyy kataliz i khimicheskaya kinetika: nauchnoe izdanie: Dolgoprudny: Izdatel'skii Dom «Intellekt», 2015, S. 504* [Chorkendorf I., Naimantsvedrait H. *Modern catalysis and chemical kinetics: scientific publication: Dolgoprudny: Publishing House «Intelligence», 2015, P. 504*] (in Russian)
2. Kravtsov A.V., Ivashkina E.N., Yur'ev E.M. *Teoreticheskie osnovy kataliticheskikh protsessov pererabotki nefiti i gaza: uchebnoe posobie Natsional'nogo issledovatel'skogo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta: Tomsk: izdatel'stvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2015, S. 144* [Kravtsov A.V., Ivashkina E.N., Yuryev E.M. *Theoretical foundations of catalytic processes in oil and gas processing: textbook National Research Tomsk Polytechnic University: Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2015. P. 144*] (in Russian)
3. Gonsior N. *Ionic Liquids. Modern Method of Synthesis, Polymerization, Characterization and Application: Dusseldorf, 2015, P.152* (in English)
4. Malikov I.V. *Issledovanie kataliticheskoi aktivnosti immobilizovannykh ionnykh zhidkosti v reaktsii izomerizatsii n-geksana. / I.V. Malikov, I.S. Zavalinskaya, Yu.P. Yas'yan. // Tekhnologii nefiti i gaza. 2015. №1. S. 140* [Malikov I.V. *Study of the catalytic activity of immobilized ionic liquids in the isomerization reaction of n-hexane. / I.V. Malikov, I.S. Zavalinskaya, Yu.P. Yasyan. // Oil and Gas Technologies. 2015. №1. P. 140*] (in Russian)
5. Malikov I.V. *Issledovanie prevrashchenii uglevodorodov S5-S6 v reaktsii izomerizatsii v prisutstvii katalizatorov na osnove immobilizovannoi ionnoi zhidkosti. / I.V. Malikov, I.S. Zavalinskaya, Yu.P. Yas'yan. // Fundamental'nye issledovaniya. 2015. №2. Ch. 5. S. 935-939* [Malikov I.V. *Study of the transformations of C5-C6 hydrocarbons in isomerization reactions in the presence of catalysts based on immobilized ionic liquid. / I.V. Malikov, I.S. Zavalinskaya, Yu.P. Yasyan. // Fundamental Research. 2015. №2. Part 5. P. 935-939*] (in Russian)
6. Malikov I.V. *Izomerizatsiya legkoi benzinovoi fraktsii na immobilizovannoi ionnoi zhidkosti / I.V. Malikov, I.S. Zavalinskaya, Yu.P. Yas'yan. // Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompanii. 2015. №4. S. 2528* [Malikov I.V. *Isomerization of light gasoline fraction on an immobilized ionic liquid. / I.V. Malikov, I.S. Zavalinskaya, Yu.P. Yasyan. // World of petroleum products. Bulletin of oil companies. 2015. №4. P. 2528*] (in Russian)
7. Malikov I.V. *Kataliticheskie svoystva nanesennykh ionnykh zhidkosti na osnove khlorida alyuminiya v izomerizatsii n-geksana. / I. V. Malikov, I. S. Zavalinskaya, Yu.P. Yas'yan. / Neftepererabotka i neftekhimiya. 2015. №6. S. 19-23* [Malikov I.V. *Catalytic properties of supported ionic liquids based on aluminum chloride in the isomerization of n-hexane. / I.V. Malikov, I.S. Zavalinskaya, Yu.P. Yasyan. / Oil refining and petrochemistry. 2015. №6. P. 19-23*] (in Russian)
8. Parvulescu V. I. *Catalysis in ionic liquids. / V.I. Parvulescu, Ch. Hardacre. // Chemical Reviews, ACS Publications. 2017. P. 2615-2665* (in English)
9. Huang M.Y. *Isomerization of endo-tetrahydrodicyclopentadiene over clay-supported chloroaluminate ionic liquid catalysts. / M.Y. Huang, J.C. Wu, F.S. Shieu, J. J. Lin. // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical №5. 2016. P. 69-75* (in English)
10. Forestiere A. *Oligomerization of Monoolefins by Homogeneous Catalysts. / A. Forstiere, H. Olivier-Bourbigou, L. Saussine. // Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP. 2019. Vol. 64. №6. P. 649-667* (in English)

Сведения об авторах:

Мельдешов А.А., докт. хим. наук., доцент кафедры «Химия» КазНацЖенПУ (г. Алматы, Казахстан), a.meldeshov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-9223-1409>

Абишева А.К., канд. хим. наук, доцент кафедры «Общая и неорганическая химия» КазНУ им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан), abisheva.ak@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-0981-1167>

Матаев М.М., докт. хим. наук, профессор кафедры «Химия» Института естествознания КазНацЖенПУ (г. Алматы, Казахстан), mataev.muhametkali@qyzpu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-9057-5443>

Авторлар туралы мәліметтер:

Мельдешов А.А., химия ғылымдарының докторы, доцент, «Химия» кафедрасы, Қазақ Ұлттық Қыздар Педагогикалық Университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Абишева А.К., химия ғылымдарының кандидаты, доцент, «Жалпы және бейорганикалық химия» кафедрасы, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ (Алматы қ., Қазақстан)

Матаев М.М., химия ғылымдарының докторы, профессор, Жаратылыстану Институты КазНацЖенПУ, Қазақ Ұлттық Қыздар Педагогикалық Университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Meldeshov A.A., Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry, KazNational Women's Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan)

Abisheva A.K., Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of General and Inorganic Chemistry, KazNU named after al-Farabi (Almaty, Kazakhstan)

Mataev M.M., Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemistry of the Institute of Natural Sciences of the KazNational Women's Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan)

ВЫСТАВКА ВЕЗДЕХОДНОЙ ТЕХНИКИ

29 НОЯБРЯ - 1 ДЕКАБРЯ
МОСКВА, ЦВК ЭКСПОЦЕНТР



0+

РЕКЛАМА

Код МРНТИ 86.40.00

А.М. Курманов³, А.Б. Бекмагамбетов³, *Б.Т. Уахитова¹, Д.К. Жумадуллаев²¹НАО Актюбинский Региональный университет им. К. Жубанова (г. Актюбе, Республика Казахстан),²Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан),³РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан» (г. Астана, Казахстан)

АНАЛИЗ ТРАВМАТИЗМА НА ШАХТЕ «МОЛОДЕЖНАЯ» ДОНСКОГО ГОКА

Аннотация. В статье проведен анализ производственного травматизма на шахте «Молодежная» Донского ГОКа за период с 2017 по 2023 год. Введение описывает актуальность проблемы травматизма в горнодобывающей отрасли Казахстана, несмотря на наличие эффективных систем безопасности и законодательства. Анализ включает статистику несчастных случаев, используя коэффициенты частоты, тяжести и общего травматизма, а также изучение распределения пострадавших по возрасту и стажу. Результаты показывают, что среднее число несчастных случаев за год составляет около 3, при этом 27,7% случаев являются тяжелыми. Основные группы пострадавших – работники в возрасте от 31 до 50 лет и с большим стажем. В статье предлагаются рекомендации по улучшению мер по охране труда, включая усиление контроля и регулярное проведение инструктажей. Заключение подчеркивает необходимость продолжения мониторинга и адаптации мер безопасности для снижения травматизма.

Ключевые слова: авария, риск, оценка, опасность, несчастный случай, травматизм, охрана труда, безопасность, инцидент, шахта.

Дон КБК «Молодежная» шахтасындағы жарақаттануды талдау

Аңдатпа. Мақалада 2017-2023 жылдар аралығында Дон КБК «Молодежная» шахтасында өндірістік жарақаттануға талдау жасалды. Кіріспе қауіпсіздік пен заңнаманың тиімді жүйелерінің болуына қарамастан, Қазақстанның тау-кен өндіру саласындағы жарақаттану проблемасының өзектілігін сипаттайды. Талдау жиілік, ауырлық және жалпы жарақат коэффициенттерін қолдана отырып, жазатайым оқиғалар статистикасын, сондай-ақ зардап шеккендердің жасына және өтіліне қарай таралуын зерттеуді қамтиды. Нәтижелер көрсеткендей, бір жылдағы жазатайым оқиғалардың орташа саны шамамен 3, жағдайлардың 27,7%-ы ауыр. Зардап шеккендердің негізгі топтары – 31 жастан 50 жасқа дейінгі және үлкен тәжірибесі бар жұмысшылар. Мақалада еңбекті қорғау шараларын жақсарту бойынша ұсыныстар, соның ішінде бақылауды күшейту және үнемі брифингтер өткізу ұсынылады. Қорытынды жарақаттануды азайту үшін қауіпсіздік шараларын бақылауды және бейімдеуді жағастыру қажеттілігін көрсетеді.

Түйінді сөздер: апат, тәуекел, бағалау, қауіп, жазатайым оқиға, жарақат, еңбекті қорғау, қауіпсіздік, оқиға, шахта.

Injury analysis at the Molodezhnaya mine of the Donskoy GOK

Abstract. The article analyzes the occupational injuries at the Molodezhnaya mine of the Donskoy GOK for the period from 2017 to 2023. The introduction describes the relevance of the injury problem in the mining industry of Kazakhstan, despite the existence of effective safety systems and legislation. The analysis includes accident statistics using the coefficients of frequency, severity and total injury, as well as the study of the distribution of victims by age and length of service. The results show that the average number of accidents per year is about 3, with 27.7% of cases being severe. The main groups of victims are workers aged 31 to 50 years and with long experience. The article offers recommendations for improving occupational safety measures, including strengthening control and regular briefings. The conclusion underlines the need for continued monitoring and adaptation of safety measures to reduce injuries.

Key words: accident, risk, assessment, danger, accident, injury, occupational safety, safety, incident, mine.

Введение

Производственный травматизм остается одной из ключевых проблем в горнодобывающей отрасли Казахстана. В этой сфере действуют эффективные системы безопасности труда и охраны здоровья работников. Законодательство страны предусматривает нормы и правила для защиты трудящихся от опасностей и профессиональных рисков, связанных с добычей полезных ископаемых. Важное значение имеют обучение сотрудников правилам безопасности и регулярный контроль за соблюдением норм. Однако горнодобывающая промышленность остается высокоопасной из-за переменчивых условий работы и отсутствия фиксированных рабочих мест, что делает ее одной из самых рискованных в плане обеспечения безопасных условий труда.

Материалы и методы

Анализ травматизма на шахте «Молодежная» Донского ГОКа охватывает период с 2017 по 2023 год. Семилетний период позволяет получить надежные данные о состоянии общего травматизма. За это время было зарегистрировано 18 несчастных случаев с 18 пострадавшими, из которых 5 получили тяжелые травмы. В среднем ежегодно происходило 2,6 несчастных случая, что примерно соответствует 3 случаям в год. Тяжелые травмы составляют 27,7% от общего числа пострадавших. Групповые несчастные случаи и случаи с летальным исходом за данный период не зафиксированы [1].

Для оценки уровня травматизма использовался статистический метод, который включает обработку данных

о несчастных случаях и расчет различных коэффициентов, таких как коэффициент частоты травматизма ($K_{\text{ч}}$), коэффициент тяжести травматизма ($K_{\text{т}}$), коэффициент опасности ($K_{\text{о}}$) и показатель травматизма со смертельным исходом ($K_{\text{с}}$).

Для оценки уровня травматизма были вычислены следующие показатели для 2018 года:

- коэффициент частоты травматизма ($K_{\text{ч}}$), рассчитанный по формуле $K_{\text{ч}} = A \cdot 1000 / T = 7 \cdot 1000 / 234 = 29,9$, где A – количество травматических случаев, T – среднесписочная численность работников [2];

- коэффициент тяжести травматизма ($K_{\text{т}}$), рассчитывается по формуле $K_{\text{т}} = \frac{D}{A} = \frac{252}{7} = 36$, где D – количество дней нетрудоспособности.

На основе собранных данных на предприятии осуществляется контроль и анализ результатов, что позволяет отслеживать и сравнивать эффективность мер по снижению производственного травматизма. Эти меры могут быть включены в коллективные договоры или соглашения по охране труда [3].

Коэффициент частоты травматизма демонстрирует количество случаев травматизма на одного работника за определенный период (полугодие, год), тогда как коэффициент тяжести травматизма показывает среднее количество дней нетрудоспособности на один случай травматизма за тот же период.

Коэффициенты $K_{\text{ч}}$, $K_{\text{т}}$ и $K_{\text{с}}$ дают возможность анализировать статистику травматизма на предприятии

Таблица 1

Показатели производственного травматизма на шахте «Молодежная» в период 2017-2023 годы

Кесте 1

2017-2023 жылдар кезеңіндегі «Молодежная» шахтасындағы өндірістік жарақаттану көрсеткіштері

Table 1

Indicators of occupational injuries at the Molodezhnaya mine in the period 2017-2023

Показатели	Значение показателя по годам						
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Численность работающих в организациях, T , чел.	235	234	236	239	237	235	238
Количество несчастных случаев, A	-	7	2	3	3	-	3
Количество календарных дней нетрудоспособности, D	-	252	84	135	125	-	140
Количество пострадавших	-	7	2	3	3	-	3
Количество погибших, L	-	-	-	-	-	-	-
Количество пострадавших с тяжелым исходом	-	4	-	-	-	-	1
Количество пострадавших в групповых несчастных случаях	-	-	-	-	-	-	-
Коэффициент частоты, K_q	-	29,9	8,47	12,6	12,7	-	12,6
Коэффициент тяжести, K_m	-	36	42	45	42	-	47
Показатель общего травматизма, K_o	-	107,6	35,6	56,4	52,7	-	58,8

за длительный период (5-10 лет) и сравнивать ее с другими организациями. На основе всестороннего анализа условий труда администрация и служба охраны труда проводят различные инструктажи и контролируют соблюдение трудового законодательства и норм безопасности [4, 5].

На основе данных, представленных в таблице 1, были построены различные зависимости показателей травматизма за период с 2017 по 2023 годы. Рисунки 1-4 иллюстрируют зависимости распределения коэффициентов и показателей травматизма от времени в указанном периоде [6].

На рис. 1 представлен график зависимости числа несчастных случаев в исследуемый период. Данная зависимость представлена полиномом 4-й степени, с коэффици-

ентом аппроксимации $R^2 = 0,5239$: $y = -0,0644x^4 + 520,55x^3 + 06x^2 + 09x + 12$. Это полиномиальная функция четвертой степени, полученная с помощью Microsoft Excel и метода наименьших квадратов. Она эффективно описывает поведение функции $A(T)$ в исследуемом периоде, так как достигнута аппроксимация около 52,39%. Анализируя эту зависимость, можно отметить, что на шахте «Молодежная» Донского ГОКа в 2017 и 2022 годах не было зарегистрировано несчастных случаев. В 2018 году зафиксировано максимальное количество несчастных случаев, а в 2019 году – минимальное. В 2020, 2021 и 2023 годах количество несчастных случаев стабилизировалось на уровне трех случаев в год [7, 8].



Рис. 1. График зависимости показателя количества несчастных случаев в исследуемый период.

Сурет 1. Зерттелетін кезеңдегі жазатайым оқиғалар саны көрсеткішінің тәуелділік графигі.

Figure 1. Graph of the dependence of the indicator of the number of accidents in the study period.



Рис. 2. График зависимости коэффициента частоты Kq (y) от времени исследований T(x).

Сурет 2. T(x) зерттеу уақытына Kq (y) жиілік коэффициентінің графигі.

Figure 2. Graph of the dependence of the frequency coefficient Kf (y) on the study time T(x).



Рис. 3. График зависимости коэффициента тяжести K_m (y) от времени исследований T (x).

Сурет 3. K_m (y) ауырлық коэффициентінің T (x) зерттеу уақытына тәуелділігінің графигі.

Figure 3. Graph of the dependence of the C_t severity coefficient (y) on the time of the studies T (x).

На рис. 2 показана зависимость распределения коэффициента частоты $Kч$ на шахте «Молодежная» Донского ГОКа за период с 2017 по 2023 годы. Зависимость представлена полиномиальной функцией $y = -0,2831x^4 + 2288,3x^3 + 06x^2 + 09x + 12$ с коэффициентом аппроксимации $R^2 = 0,5256$. График демонстрирует схожесть с предыдущим распределением функции $A(T)$, сохраняя те же амплитудные характеристики [9, 10]. В 2018 годах коэффициент имеет максимальные значения, соответственно равен 29,9. Среднее значение $Kч$ за исследуемый период составляет 10,9 в год.

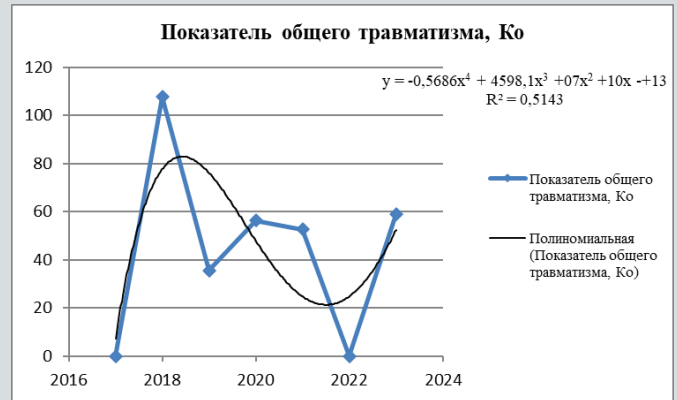


Рис. 4. График зависимости показателя общего травматизма K_o (y) от времени исследований T (x).

Сурет 4. K_o (y) жалпы жарақаттану көрсеткішінің T (x) зерттеу уақытына тәуелділігінің графигі.

Figure 4. Graph of the dependence of the indicator of general injury C_o (y) on the time of the studies T (x).

На рисунке 3 показана зависимость распределения коэффициента тяжести травматизма (K_m) на шахте «Молодежная» Донского ГОКа за период с 2017 по 2023 год. Было установлено, что распределение можно описать полиномиальной функцией четвертой степени: $y = 0,7727x^4 - 6241,1x^3 + 07x^2 + 10x + 13$ с коэффициентом аппроксимации $R^2 = 0,8151$. Анализ функции показывает, что в интервале с 2017 по 2022 год K_m оставался на нулевом уровне, поскольку несчастных случаев не фиксировалось. Коэффициент тяжести травматизма варьировался от 36 до 47. Максимальное значение K_m ,

Таблица 2

Распределение пострадавших по возрасту на шахте «Молодежная» Донского ГОКа в период 2017-2023 годы

Кесте 2

2017-2023 жылдар кезеңінде Дон КБК «Молодежная» шахтасында зардап шеккендерді жасына қарай бөлу

Table 2

Distribution of victims by age at the Molodezhnaya mine of the Donskoy GOK in the period 2017-2023

Профессия	Возраст					всего	в % к общему числу
	с 20 до 25	с 26 до 30	с 31 до 40	с 41 до 50	с 51 и старше		
Проходчики	1		3	3	3	10	55,6
Машинист скреперной лебедки		1		1		2	11
И.о. горного мастера			1			1	5,6
Электрослесарь по ремонту распределительных устройств				1		1	5,6
Машинист буровой установки		1		1		2	5,6
Взрывник		1				1	11
Горнорабочий	1					1	5,6
Всего	2	3	4	6	3	18	
В % к общему числу пострадавших на подземных горных работах	11,1	16,7	22,2	33,3	16,7		100

равное 47, было достигнуто в 2023 году, а среднее значение $Km = 30,3$.

На рисунке 5 показана зависимость распределения показателя общего травматизма (Ko) на шахте «Молодежная» за исследуемый период. Аппроксимация данных привела к уравнению $y = -0,5686x^4 + 4598,1x^3 + 07x^2 + 10x + 13$ [8] с коэффициентом аппроксимации $R^2 = 0,5143$. Максимальные значения общего травматизма зафиксированы в 2018 году (107,6), минимальные – в 2019 годах (35,6). В 2020, 2021 и 2023 годах показатель варьировался от 52,7 до 58,8, а среднее значение Ko за весь период составило 44,5.

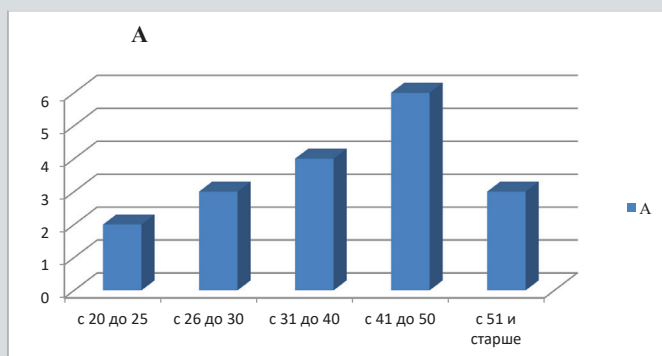


Рис. 5. Гистограмма распределения пострадавших по возрасту на в период 2017-2023 гг.

Сурет 5. 2017-2023 жж. кезеңінде зардап шеккендерді жасына қарай бөлудің гистограммасы.

Figure 5. Histogram of the distribution of victims by age for the period 2017-2023.

Учитывая вышеизложенное, представляется анализ распределения числа несчастных случаев в опасных цехах Донского ГОКа по стажу и профессии пострадавших (см. таблицы 2 и 3).

Из анализа данных, представленных в таблице 2, можно сделать следующие выводы. Наибольшую долю среди работников составляют группы в возрасте «с 41 до 50» (33,3%) и «с 31 до 40» (22,2%). Эти возрастные категории наиболее подвержены травматизму, независимо от стажа работы. На третьем месте по уровню травматизма находятся работники возрастной категории «с 26 до 30» и «с 51 и старше», составляющие по 16,7% от общего числа.

Согласно таблице 2 и гистограмме (рис. 5), наибольшее количество несчастных случаев за исследуемый период зафиксировано у профессий с проходчиками – 10 случаев (55,6%). В группе проходчиков наибольшее число пострадавших приходится на возрастные группы «от 31 до 40», «с 41 до 50» и «с 51 и старше», по 3 случая в каждой. Эти данные свидетельствуют о том, что жизненный и производственный опыт работников часто не компенсирует их недостаточную бдительность и игнорирование правил техники безопасности. Очевидно, что руководству Донского ГОКа и службам охраны труда следует уделить больше внимания данному возрастному контингенту подземных горнорабочих.

Из анализа стажа работы (табл. 3, рис. 6) можно сделать следующие выводы: наибольшую травмоопасность представляют работники со стажем «от 15 лет и более» – 5 пострадавших (27,7%). На втором месте находятся работники со стажем «до 1 года» – 4 пострадавших (22,2%). Работники со стажем «от 1 до 3 лет», «от 5 до 10 лет» и «от 10

Таблица 3

Распределение пострадавших по стажу на шахте «Молодежная» Донского ГОКа в период 2017-2023 годы

Кесте 3

2017-2023 жылдар кезеңінде Дон КБК «Молодежная» шахтасында зардап шеккендерді еңбек өтілі бойынша бөлу

Table 3

Distribution of victims by length of service at the Molodezhnaya mine of the Donskoy GOK in the period 2017-2023

Профессия	Стаж						всего	в % к общему числу
	до 1 года	с 1 до 3	с 3 до 5	с 5 до 10	с 10 до 15	15 и более		
Проходчики	2	1		1	1	5	10	55,6
Машинист скреперной лебедки		1		1			2	11
И.о. горного мастера	1						1	5,6
Электрослесарь по ремонту распределительных устройств					1		1	5,6
Машинист буровой установки	1				1		1	5,6
Взрывник				1			1	11
Горнорабочий		1					1	5,6
Всего	4	3		3	3	5	18	
В % к общему числу пострадавших на подземных горных работах	22,2	16,7		16,7	16,7	27,7		100

до 15 лет» зарегистрировали по 3 несчастных случая (по 16,7% в каждой категории). Работники с большим стажем работы теряют бдительность и иногда игнорируют правила техники безопасности, несмотря на опыт и навыки. В свою очередь, работники с небольшим стажем страдают от недостатка опыта и навыков.

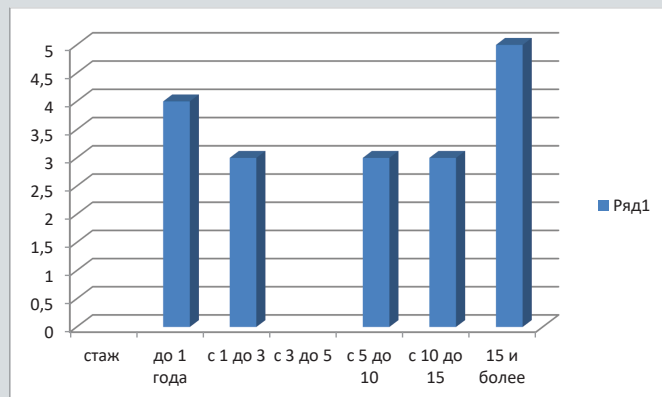


Рис. 6. Гистограмма распределения пострадавших по стажу работников в период 2017-2023 гг.

Сурет 6. 2017-2023 жж. кезеңінде зардап шеккендерді еңбек өтілі бойынша бөлудің гистограммасы.

Figure 6. Is a histogram of the distribution of victims by length of service of employees in the period 2017-2023.

Вывод

В данном исследовании представлен всесторонний анализ травматизма на шахте «Молодежная» Донского ГОКа за период с 2017 по 2023 годы. Общее количество несчастных случаев за семилетие составило 18, что привело к 18 пострадавшим, включая 5 тяжелых случаев. Средний показатель травматизма составил около 3 случаев в год, что соответствует 2,6 несчастным случаям в год.

Анализ показателей травматизма на основе статистических данных показал следующие результаты: коэффициент частоты травматизма (*Кч*) варьировался от 8,47 до 29,9, что указывает на значительные колебания в разные годы, а среднее значение за период составило 10,9. Коэффициент тяжести травматизма (*Кт*) также демонстрировал изменения, достигая максимума в 2023 году (47) и в

среднем составил 30,3. Показатель общего травматизма (*Ко*) колебался от 35,6 до 107,6, что также свидетельствует о вариативности травматизма в разные годы.

В результате анализа, проведенного с использованием полиномиальных функций для описания зависимостей коэффициентов и показателей травматизма, выявлено, что меры по охране труда и контроль за соблюдением норм безопасности играют ключевую роль в снижении травматизма. В будущем рекомендуется усилить внимание к профилактическим мерам и проводить регулярные тренировки для улучшения безопасности на производстве.

Основную долю пострадавших составляют работники в возрасте от 31 до 50 лет. Это может указывать на то, что возрастные группы с большим опытом работы могут проявлять неосмотрительность, что также может быть связано с потерей бдительности.

Наибольшее количество несчастных случаев наблюдается у работников с большим стажем (15 и более лет) и у новичков (менее 1 года). Работники с большим стажем могут терять бдительность, в то время как новички страдают из-за недостатка опыта и навыков.

Исследования показывают, что наибольшее значение показатели имеют на ответственных и сложных рабочих местах (профессиях). Рекомендуется усиление контроля за соблюдением правил техники безопасности, особенно для опытных работников; введение дополнительных инструктажей и тренировок для работников с небольшим стажем; регулярный анализ и пересмотр мер по охране труда, основанный на анализе травматизма, чтобы адаптировать их к текущим условиям и требованиям.

В целом, необходимо продолжать мониторинг и анализ причин травматизма, чтобы улучшить условия труда и снизить количество несчастных случаев на шахте.

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. 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)
2. Имангазин М.К. Анализ травматизма на производстве ферросплавов в Республике Казахстан: Saarbrücken, Германия, LAP LAMBERT Academic Publishing, 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. Раматуллаева Л.И. Анализ производственного травматизма на примере металлургического предприятия. // Горный журнал Казахстана. 2024. №4 (228). С. 43-50 (на казахском языке)
6. Бобров И.А. Необходимое изменение обеспечения безопасности труда – переход к управлению риском. // Безопасность труда в промышленности. 2008. №1. С. 46-50 (на русском языке)

7. Уахитова Б.Т. Анализ статистических данных тестирования. // Сб. тр. LIII республиканской научно-практической конференции «Молодежь, наука и техника: пути совершенствования и интеграции», Темиртау, 2023. – С. 198-202 (на русском языке)
8. Кловач Е.В., Сидоров В.И. Система промышленной безопасности. // Система промышленной безопасности. 2009. №8. С. 2-7 (на русском языке)
9. Моурас Ф., Бадри А. Обзор методов управления рисками, техник и программного обеспечения, наиболее часто используемых в области охраны труда. // Международный журнал техники безопасности. 2019. №10. С. 149-160 (на английском языке)
10. Уахитова Б.Т. Анализ травматизма в горно-металлургической отрасли Актюбинского региона в период с 2013-2022 гг. // Горный журнал Казахстана. 2024. №7 (231). С. 52-60 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. 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)
2. Имангазин М.К. Қазақстан Республикасының ферроқорытпа өндірісіндегі жарақаттарды талдау: Saarbrucken, Германия, LAP Lambert Academic Publishing, 2014, Б. 373 (орыс тілінде)
3. Хакімжанов Т.Е. Еңбекті қорғау: Алматы: ОВЕРО, Қазақстан, 2008, Б. 255-258 (орыс тілінде)
4. Uakhitova V. 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. Раматуллаева Л.И. Металлургиялық кәсіпорын мысалында өндірістік жарақаттануды талдау. // Қазақстан тау-кен журналы. 2024. №4 (228). Б. 43-50 (қазақ тілінде)
6. Бобров И.А. Еңбек қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі қажетті өзгеріс-тәуекелдерді басқаруға көшу. // Өнеркәсіптегі еңбек қауіпсіздігі. 2008. №1. Б. 46-50 (орыс тілінде)
7. Уахитова Б.Т. Тестілеудің статистикалық деректерін талдау. «Жастар, ғылым және техника, жетілдіру және интеграциялау жолдары», Теміртау, 2023. – Б. 198-202 (орыс тілінде)
8. Кловач Е.В., Сидоров В.И. Өнеркәсіптік қауіпсіздік жүйесі. // Өнеркәсіптегі еңбек қауіпсіздігі. 2009. №8. Б. 2-7 (орыс тілінде)
9. Моурас Ф., Бадри А. Еңбекті қорғау саласында жиі қолданылатын тәуекелдерді басқару әдістеріне, әдістеріне және бағдарламалық жасақтамасына шолу. // Халықаралық қауіпсіздік журналы. 2019. №10. Б. 149-160 (ағылшын тілінде)
10. Уахитова Б.Т. 2013-2022 жж. аралығындағы Ақтөбе өңірінің тау-кен металлургия саласындағы жарақаттануды талдау. // Қазақстан тау-кен журналы. 2024. №7 (231). Б. 52-60 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Seitova G. 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)
2. Imangazin M.K. Analiz travmatizma na ferrosplavnom proizvodstve Respubliki Kazakhstan: Saarbrucken, Germaniya, Akademicheskoe izdatel'stvo LAP Lambert Academic Publishing, 2014, S. 373 [Imangazin M.K. Analysis of injuries in ferroalloy production of the Republic of Kazakhstan: Saarbrucken, Deutschland, LAP Lambert Academic Publishing, 2014, P. 373] (in Russian)
3. Khakimzhanov T.E. Okhrana truda: Almaty: OZERO, Kazakhstan, 2008, S. 255-258 [Khakimzhanov T.E. Occupational safety: Almaty: VERO, 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. 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)
6. Bobrov I.A. Neobkhodimoe izmenenie obespecheniya bezopasnosti truda – perekhod k upravleniyu riskom. // Bez-opasnost' 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)
7. Uakhitova B.T. Analiz statisticheskikh dannykh testirovaniya. // Sb. tr. 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)

8. *Klovach E.V., Sidorov V.I. Sistema promyshlennoi bezopasnosti. // Sistema promyshlennoi bezopasnosti. 2009. №8. S. 2-7 [Klovach E.V., Sidorov V.I. Industrial safety system. // Industrial safety system. 2009, №8. p. 2-7] (in Russian)*
9. *Mouras F., Badri A. Survey of the risk management methods, techniques and software used most frequently in occupational health and safety. // International Journal of Safety and Security Engineering. 2019. №10. P. 149-160 (in English)*
10. *[Uakhitova B.T. Analysis of injuries in the mining and metallurgical industry of the Aktobe region in the period from 2013-2022. // Mining Journal of Kazakhstan. 2024. №7 (231). P. 52-60] (in Russian)*

Информация 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>

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

Жумадуллаев Д.К., доктор PhD, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование», Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан), daulet_ospl@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6552-2817>

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)

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

Жумадуллаев Д.К., PhD доктор, «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» кафедрасының доценті, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті (Шымкент қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Kurmanov A.M., Candidate of Economic Sciences, General Director of the RSE at the National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan (Astana, Kazakhstan)

Bekmagambetov A.B., Candidate of Law, Associate Professor, Deputy Director General for Scientific Work of the RSE at the National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan (Astana, Kazakhstan)

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

Zhumadullayev D.K., PhD, associate professor of Technological Machines and Equipment department, M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan)



VI МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ И МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ

kmf-expo.kz

23-25 апреля 2025

Международный выставочный центр «EXPO»
г. Астана, Казахстан

Организаторы:



Министерство
промышленности и строительства
Республики Казахстан



ASTANA
EXPO

Соорганизатор:



LEIPZIGER MESSE
INTERNATIONAL

90 ЛЕТ ВИКТОРУ ЛЕОНТЬЕВИЧУ ЯКОВЛЕВУ

90 лет Виктору Леонтьевичу Яковлеву – одному из ведущих и ярких представителей Уральской школы отечественной горной науки, Советнику РАН, члену-корреспонденту РАН, действительному члену АН Республики Саха (Якутия), члену Академии горных наук РФ, профессору, доктору технических наук, заслуженному деятелю науки Республики Саха (Якутия).

Почти 70 лет Виктор Леонтьевич отдал горному делу – стратегическому направлению развития экономики и поддержания технологического суверенитета России. В 1956 г. он с отличием окончил горный факультет Свердловского горного института им. В.В. Вахрушева и был направлен в институт Уралгипрошахт. В 1962 г. В.Л. Яковлев поступил в аспирантуру ИГД МЧМ СССР (ныне ИГД УрО РАН), в 1966 г. защитил кандидатскую, а в 1979 г. докторскую диссертацию, результаты которой легли в основу современной теории формирования транспортных систем и явились основанием для выполнения цикла исследований по обоснованию прогнозных параметров карьерного транспорта на крупнейших горно-обогатительных комбинатах страны.

С 1986 г., будучи директором ИГДС СО РАН (г. Якутск), основное направление которого связано с созданием научных основ разработки месторождений в условиях многолетней мерзлоты, Яковлевым В.Л. получены важные научные результаты по проблеме комплексного использования полезных ископаемых, в области исследования тепловых и механических процессов в массивах многолетнемерзлых горных пород и создания способов ведения горных работ на основе управления этими процессами. В 1991 г. В.Л. Яковлев избран членом-корреспондентом РАН, а в 1994 г. за заслуги в теории и практике освоения недр Якутии ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки республики Саха (Якутия)». Он избран членом Президиума Якутского научного центра, объединенного совета СО РАН по наукам о Земле и Международного комитета по горному делу в Арктике.

В 1995 г. В.Л. Яковлев возвратился на Урал и в 1996 г. возглавил ИГД УрО РАН, директором которого проработал до 2006 г. В это время в институте проводятся исследования в области создания научных основ эффективного и безопасного освоения недр, прикладные результаты которых внедряются на горных предприятиях России и Казахстана. Основным научным направлением В.Л. Яковлева стали исследования в области теории формирования транспортных систем глубоких карьеров, представленных в множестве научных трудов и обобщенных в монографии «Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров». Результаты исследования в данной области до настоящего времени являются теоретической и методической основой выбора стратегии формирования транспортных систем глубоких карьеров.

За выдающийся вклад в развитие горных наук Казахстана, подготовку и выпуск инженерных и научных кадров высшей квалификации в 2004 г. В.Л. Яковлеву присвоено звание «Почетный научный сотрудник Института горного дела им. Д.А. Кунаева».

С 2006 г. Виктор Леонтьевич – советник РАН, руководит фундаментальными исследованиями по основной геотехнологической тематике института, интеграционными проектами с институтами СО РАН и ДВО РАН, программам ОНЗ РАН и Президиума УрО РАН. В этот период бюд-

жетные и прикладные исследования, выполняемые коллективом научных работников под руководством Виктора Леонтьевича, сосредоточены на комплексном решении проблем ресурсо- и энергосбережения, а также экологической и промышленной безопасности горного производства.

Научная деятельность В.Л. Яковлева отмечена премией РАН им. Н.В. Мельникова за серию работ «Технологические аспекты проблемы комплексного освоения недр», премией УрО РАН им. Л.Д. Шевякова за цикл работ по проблеме «Научные основы формирования транспортных систем карьеров при разработке глубокозалегающих месторождений».

В последние годы научные усилия В.Л. Яковлева направлены на поддержание технологического суверенитета России путем реализации методологических подходов к горно-геологической и технико-экономической оценке месторождений и обоснованию параметров горнотехнических систем, основанных на сочетании передовых геотехнологий и взаимосвязи технологических процессов. Результаты исследований, представленные в монографии «Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья», в 2022 году удостоены Премии РАН им. Н.В. Мельникова. Под его руководством сформулированы для Межведомственного совета предложения института по актуализации положений Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации на период до 2050 года.

За выдающиеся заслуги и достижения, способствующие эффективному развитию горной промышленности и горных наук, В.Л. Яковлев награжден орденами «Дружбы» и «Почета», тремя медалями, золотым знаком «Горняк России», знаками «Почетный работник угольной промышленности», «Почетный работник топливно-энергетического комплекса». Он является полным кавалером нагрудного знака «Шахтерская слава», лауреатом Уральской горной премии; имеет массу почетных грамот Минчермета СССР, Президиума РАН, Президента РС(Я), Губернатора и Правительства Свердловской области. Его трудовая деятельность отмечена знаком «За заслуги перед Свердловской областью» 3 степени. Как ветеран института, посвятивший ему более 50 лет жизни, награжден «Золотым знаком ИГД».

Обаяние личности В.Л. Яковлева особенно ярко проявляется во время научных дискуссий, на конференциях, заседаниях научных советов, при защитах диссертаций, обсуждениях различных проектов и т.д. Благодаря общительности, коммуникабельности и широкой эрудиции Виктор Леонтьевич снискал огромный авторитет в академических, вузовских и горнопромышленных кругах.

Отмечая юбилей Виктора Леонтьевича Яковлева, коллектив института, научно-техническая и горная общественность желает ему доброго здоровья и творческих успехов на благо российской горной науки и практики.



Коллектив ИГД УрО РАН

АХМАМБЕТОВ О.А. (1931-2024)

16 октября 2024 года ушел из жизни Орынбек Ахмамбетович Ахмамбетов – один из выдающихся инженеров комбината «Ачполиметалл». Уникальная, неординарная личность. Он вместе со многими другими специалистами создавал славу комбинату «Ачполиметалл» и нашему городу Кентау, за что в 2007 году ему было присвоено звание «Почетный гражданин города Кентау».

Скромный, интеллигентный, добрый и прекрасный человек, память о котором хранится в истории цветной металлургии Казахской ССР.

Высокообразованный, обладающий великолепными деловыми качествами отличного профессионала горного дела и строительства, он прожил в Кентау большую часть своей жизни, сохранив о себе самые добрые и теплые воспоминания и впечатления у людей, работавших и живших рядом с ним.

10 сентября 2024 года Ахмамбетову Орынбеку Ахмамбетовичу исполнилось 93 года – старейшему работнику комбината «Ачполиметалл».

Он родился 10 сентября 1931 года в поселке Кармакчи Кармакчинского района Кызыл-Ординской области. Участник трудового фронта в годы Великой Отечественной войны, в 1944-45 годы он трудился электромонтером Джусалинского механического завода в поселке Кармакчи.

В 1948-1952 гг. – студент Кызыл-Кийского горного техникума Киргизской ССР.

В 1952-53 годах работал начальником участка треста «Ленгер-уголь» в Южно-Казахстанской области.

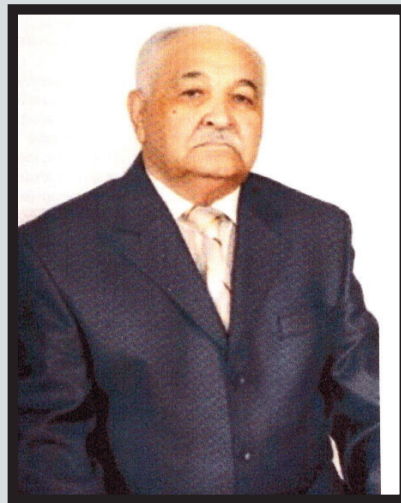
В 1953-55 годах он – первый секретарь Ленгерского горкома комсомола.

В 1955 году был направлен обкомом Южно-Казахстанской области первым секретарем Кентауского горкома комсомола.

Затем началась работа в системе комбината «Ачполиметалл», где О.А. Ахмамбетов начал свое восхождение с должности горного мастера на руднике «Карасай», в 1958-59-е – руководитель нормативно-исследовательских работ комбината. В 1959-62 гг. – старший диспетчер. В 1962-1968 гг. – горный мастер, начальник участка рудника «Миргалимсай». Будучи очень требовательным к себе и ответственным в работе специалистом, Орынбек Ахмамбетович стремился постоянно совершенствовать свои профессиональные знания и в 1966 году закончил Всесоюзный заочный политехнический институт в Москве.

С апреля 1967 года по декабрь 1967-го наш земляк был сотрудником Советского павильона на Всемирной выставке «Экспо-67» в Монреале и представлял цветную металлургию СССР, город Кентау и комбинат «Ачполиметалл».

С 1968 по 1973 гг. – главный инженер Миргалимсайского шахтостроительного управления комбината «Ачпо-



лиметалл», которое с 1970 г. перешло в непосредственное подчинение Министерства цветной металлургии Казахской ССР.

С учетом опыта в области шахтного строительства и организаторских способностей в 1973 г. Ореке был назначен директором строящегося Орловского горно-обогатительного комбината в Бородулихинском районе Семипалатинской области, где он, начав с нуля строительство комбината и поселка городского типа, названный им Жезкентом, проработал до 1978 г., выдав первую руду «на-гора».

Вернувшись в Кентау, он продолжил плодотворную работу в комбинате «Ачполиметалл» заместителем директора комбината по капитальному строительству. Трудовую деятельность завершил в тресте «Золотошахтопроходка». С 1996 г. – пенсионер.

Его труд инженера, горняка, строителя, руководителя был достойно отмечен Родиной многими наградами.

Орынбек Ахмамбетович был прекрасным семьянином. Со своей супругой Меруерт Кыдырбаевной прожили долгие годы в мире и согласии, вырастили и воспитали четверых детей, которые создали свои семьи и заняли свое достойное место в жизни. Сын пошел по стопам отца – горный инженер-маркшейдер. Занимал ответственные должности на различных горнорудных предприятиях, был директором строящегося Шалкинского рудоуправления. Особая отрада у ата и аже их внуки и правнуки, которые безмерно радуют своими успехами в учебе и достижениями в работе.

Пусть родная земля будет пухом. Мы навсегда сохраним в своей памяти его светлый образ, и след, оставленный им на Земле, будет еще долго радовать Родину своими производственными успехами.

**Ветераны цветной металлургии Казахстана,
редколлегия «Горного журнала Казахстана»**

НУРУТДИНОВ А.В. (15.06.1933-20.10.2024)

20 октября 2024 года на 92-м году ушел из жизни замечательный человек, горный инженер-геолог, Труженик тыла, Ветеран труда, Отличник разведки недр СССР, Почетный разведчик недр Республики Казахстан, Почетный геолог Республики Казахстан Нурутдинов Абдулхай Валиевич.

Абдулхай Валиевич родился 15 июня 1933 года, в городе Семипалатинске (ныне Семей).

Связал свою жизнь с геологией, поступив в 1948 году в Семипалатинский геологоразведочный техникум, по окончании учебы, как один из лучших выпускников техникума был откомандирован Отделом Внешних отношений при Министерстве геологии и охраны недр СССР в Монгольскую Народную Республику, где в период с 1952 по 1955 годы работал техником-геологом, начальником отряда, а после открытия месторождений олова Баин-Дабан, Абдуло и Адрасман, был назначен начальником партии в составе Восточной экспедиции и награжден «Почетной грамотой» Мингео СССР.

С 1955 года по 1958 год служил в рядах Советской армии, а в 1958 году поступил в Казахский политехнический институт, который закончил в 1964 году и был направлен в Семипалатинский геологоразведочный техникум, где был принят на должность заведующего производственным обучением, преподавателем спецдисциплин.

В 1972-1988 гг. во время работы вместе со студентами техникума в Горностаевской партии АГГЭ был открыт ряд золоторудных месторождений на территории Семипалатинского Прииртышья, за что был награжден знаком «Отличник разведки недр».



26 января 2000 года Абдулхай Валиевич вышел на заслуженный отдых, однако продолжал щедро делиться накопленными знаниями и опытом со студентами и коллегами вплоть до 2013 года.

Его вклад в развитие геологоразведочной отрасли невозможно переоценить, ведь за эти долгие 49 лет работы преподавателем он обучил и передал свою любовь к геологии несчетному количеству людей, многие из которых сегодня являются успешными специалистами и работают не только по всему Казахстану, но и в крупных международных компаниях за пределами Казахстана.

Светлая память о Абдулхае Валиевиче навсегда останется в наших сердцах.

*Коллектив Геологоразведочного
колледжа г. Семей,
Ассоциация выпускников СГРК*

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.