

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 30.04.2024 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 Nabashi (Canada), Dr. techn. [Vienna], Dr.h.c. [St. Petersburg], Dr.h.c. [National Tech Univ, Lima], Dr.h.c. [San Marcos Univ, Lima]

Fidelis Tawiah Suorineni, PhD,
Professor of Mining Engineering

М.Б. Барменшинова, канд. техн. наук

А.Б. Бегалинов, д-р техн. наук, профессор

А.А. Бекботаева, PhD

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

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

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

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

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

В.Ф. Демин, д-р техн. наук

А.И. Едильбаев, д-р техн. наук

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

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

Ш.В. Каримов (Узбекистан), PhD

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

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

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

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

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

Е.Н. Ольшанский, член-корреспондент МАИН

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

Б.Т. Ратов, д-р техн. наук, профессор

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

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

П.Г. Тамбиев, канд. техн. наук

Ш.Н. Туробов (Узбекистан), PhD

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

Р.А. Хамидов (Узбекистан), PhD

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

Т.А. Чепуштанова, PhD

® – статья на правах рекламы

ⓘ – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3** Колонка главного редактора
- 4** Micromine Origin Grade Copilot
Моделирование на основе нейронной сети ®
- Геотехнология**
- 7** *А.Ж. Имашев, А.М. Суимбаева, А.Ж. Ауелбекова, А.К. Матаев*
Оценка разубоживания руды при отработке маломощных крутопадающих залежей на основе численного моделирования
- Геофизика**
- 15** *А. Шарапатов, Г.А. Кабдсихова, *Н.А. Асирбек, А.Б. Садуов*
Плотностные и магнитные характеристики пород восточной части Сарысу-Тенизского поднятия (Центральный Казахстан)
- Геодезия**
- 21** *Х.М. Касымкапова, Э.О. Орынбасарова, *К.А. Жанакулова, Б. Адебиет*
Путь относительных гравиметрических измерений: от маятника к микрочипу
- Геомеханика**
- 30** *Н.Ф. Низаметдинов, Л.Д. Баймагамбетова, *М.Б. Игемберлина, А.К. Сатбергенова*
Оперативное построение цифровых моделей горных выработок на Жезказганском месторождении на основе использования ручного сканирования
- Металлургия**
- 37** **R.M. Zhdanov, M.S. Almagambetov, N.A. Ulmaganbetov, S.A. Laikhan*
Briquetting of corrosion-resistant electrically conductive powder
- Охрана труда и безопасность в горной промышленности**
- 43** *Л.И. Раматуллаева, Ш.Қ. Шапалов, *Б.Т. Уахитова, Ж.К. Баймуханбетова*
Металлургиялық кәсіпорын мысалында өндірістік жарақаттануды талдау
- Охрана труда и безопасность в горной промышленности**
- 50** *М.К. Есенов, *Л.И. Раматуллаева, А.А. Волненко, Г.К. Ивахнюк*
Қоршаған ортаны қорғау үшін аэрозоль бөлшектерін ұстауды онтайландыру
- Юбилей**
- 60** Биография Кунаева Миргали Сапаргалиевича
- 62** Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің (ҚазҰТЗУ-дың) ректоры, экономка ғылымдарының докторы, профессор Мейрам Мұхаметрақымұлы Бегентаевқа 50 жас
- 64** Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

*Дорогие читатели!
Уважаемые члены редколлегии!*

Апрель месяц 2024 ознаменован значимыми событиями, каждое из которых можно оценивать как эпохальное в жизни нашей страны, поэтому хочется остановиться, чтобы напомнить о них и разделить события нашей быстротекущей жизни на «до» и «после».

12 апреля 1899 года, 125 лет назад, родился человек, которому предстояло стать в истории Казахстана первым казахом-геологом, организатором и первым Президентом Академии наук, первым академиком АН СССР из республик Советского Востока. Его звали Каньш Имантаевич Сатпаев. Он был подлинным героем своего времени, названным по праву соотечественниками «Человеком века» и оставшимся в нашей памяти как человек колоссальной энергии, нестигаемой воли, обладавший всесторонними знаниями и феноменальной работоспособностью.

Его жизненный путь в начальной стадии, когда он был совсем молодой, совпал с периодом индустриализации и коллективизации, и его производственная деятельность выковала из него крупного общественного и государственного деятеля, которому доверяли и помогали руководители СССР Серго Орджоникидзе и Лазарь Моисеевич Каганович.

Геолог «от Бога», обладавший природным даром предвидения, своим неустанным трудом вместе с трудовыми коллективами обеспечили в предвоенные и военные годы оборонную промышленность и нужды машиностроения медью Жезказгана и Балхаша, свинцом Ачисая и марганцем Жезды, качественной продукцией Карагандинского передельного металлургического завода.

В послевоенное время Академия наук Казахской ССР вошла в число лучших среди академий союзных республик, занимая в науке место в развитии новых технологий и внедрении передовых методов геологоразведки, добычи и производства металлов, выходя на мировой уровень своего времени.

Начатое в 1952 г. Каньшем Имантаевичем создание геологических карт Центрального Казахстана, которое позднее было воспринято как необходимость в геологическом изучении всей республики, сыграло историческую выдающуюся роль в ускоренном и опережающем развитии минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса, достаточно того, что во многих случаях для отдельных регионов и видов металлов результаты проделанной под руководством Сатпаева К.И. работы используются успешно до сих пор.

Великий сын своего народа К.И. Сатпаев ушел из жизни в расцвете своих творческих сил, не успев довести до завершения многое из задуманного им. День его рождения был определен как День науки, и его празднование в этом году отмечено особыми решениями Президента нашей страны Токаева К.-Ж.К., которые определили направления научно-технологического развития и стали фундаментом, на котором основан принятый Закон о науке и технологической политике.

В эти же дни страна отметила и 90-летие со дня рождения «Сына Земли» Ю.А. Гагарина, который, прожив всего 34 года, ушел от нас, открыв дорогу в Космос, исполнив заветную мечту людей воспарить к небесам на крыльях, не опалив их солнечным огнем, как Икар. Имя Юрия Алексеевича так же, как и Каньша Имантаевича, останется в памяти казахстанского народа, потому что он поднялся во вселенную с нашей земли, ставшей колыбелью роста человеческого сознания и академией внедрения творческих достижений цивилизации.

И конечно, с этими событиями навсегда связан Праздник, имеющий особое значение для Казахстана. Это День геолога – праздник людей героического склада с открытой нараспашку всем ветрам назло доброй душой и горячим сердцем, чьи шаги с рюкзаком за спиной по степным просторам и горным тропам всегда сулят нам новые открытия в неисчерпаемых недрах нашей Родины.

С праздником, друзья и коллеги! Будем жить и работать!

Статья подготовлена специалистами:
Станиславом Совиным (специалист по продукту Micromine Origin)
и Айдыном Кабыкен (специалист Micromine Origin & Geobank)

MICROMINE ORIGIN GRADE COPILLOT МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Наличие большого объема данных при геологоразведочных работах обуславливает затрату большого количества времени на их анализ и обработку, на основе которых производится геологическое и ресурсное моделирование. В связи с этим наблюдается постоянное развитие программного обеспечения.

В релизе ПО версии Micromine 2024 одним из основных нововведений был представлен новый облачный инструмент Grade Copilot. Инструмент выполняет функцию «помощника», используя методы машинного обучения для создания моделей. Grade Copilot предназначен для анализа данных геологоразведочных работ и может моделировать как числовые, так и категориальные данные, а также оба типа одновременно.

Инструмент Grade Copilot имеет интуитивно понятную и простую форму для заполнения, разделенную на группы: вводные данные, настройка модели и вывод данных.

В качестве ввода выступают табличные данные, содержащие числовую и категориальную информацию по интервалам, такие как среднее содержание полезного компонента и код литологической разности. **Моделирование числовых данных** с несколькими атрибутами одновременно (серебро, золото) целесообразно только при наличии хорошей корреляционной связи между ними. Аналогичная корреляционная связь должна присутствовать при **моделировании числовых и категориальных данных** одновременно.

Моделирование анизотропных сред может потребовать некоторую корректировку пространства модели для лучшего соответствия локальной геологии. Преобразование возможно на базе геометрии вводных данных, глобально-

го и структурного трендов. Альтернативой структурного тренда является дополнительная возможность задать направление анизотропии при помощи направляющих каркасов или поверхностей.

Важный показатель того, насколько хорошо модель машинного обучения обобщает ваши данные – подгонка модели. Хорошо подогнанная модель дает более точные результаты. Grade Copilot имеет четыре варианта подгонки вашей модели.

Начальная настройка может привести к созданию сглаженной модели (Underfit) и будет отображать общий тренд данных, но, вероятно, не будет особенно хорошо соответствовать входным данным.

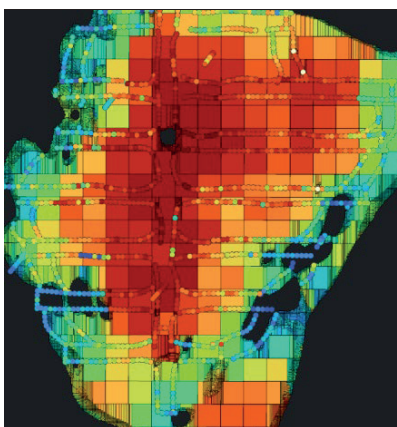
Сбалансированная настройка. Позволит создать модель, представляющую собой хороший компромисс между хорошим сопоставлением локальных данных и определением значений в областях между точками данных (Optimal).

Расширенная и Экстремальная настройки создадут модели, которые лучше соответствуют локальным данным, но могут начать хуже работать между точками данных (Overfitting). Это может в разной степени повлиять на кривые содержания и тоннажа или на непрерывность литологии в зависимости от месторождения.

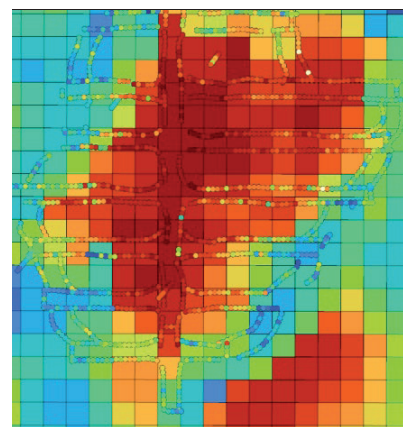
Важно понимать, что хороший результат также зависит от качества ваших данных.

На создание модели может потребоваться от 5 минут, до нескольких часов.

Полученные модели Grade Copilot показывают хороший результат при сопоставлении с моделью, оцененной методом Ординарного Кригинга (ОК), на создание

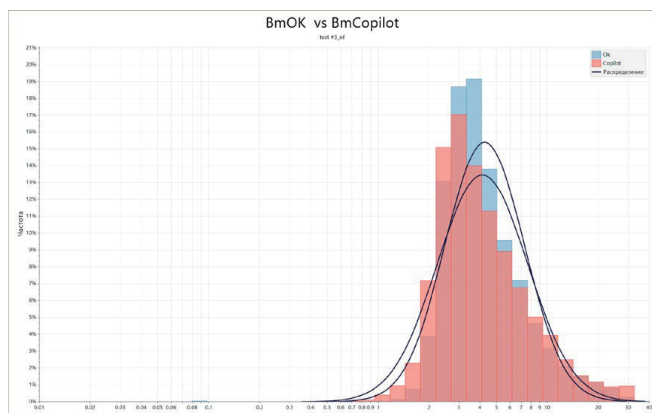


Модель ОК.

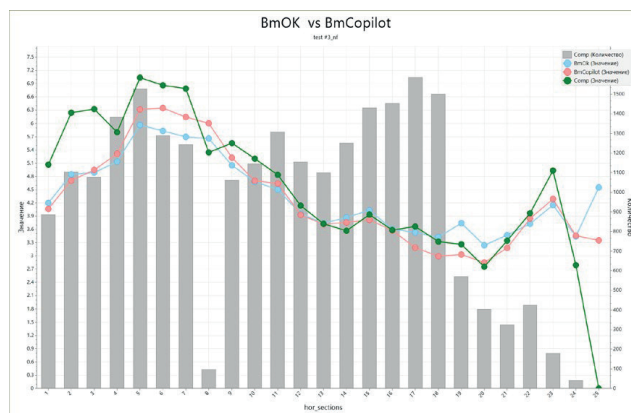


Модель Grade Copilot.

Рис. 1.



Мультигистограмма распределения средних содержаний в БМ ОК и БМ Copilot.



SwathPlot композитов, БМ ОК и БМ Copilot.

Рис. 2.

которой затрачивается условно в десятки раз больше времени.

Визуальное сопоставление показывает хорошую сходимость распределения среднего содержания полезного компонента в блоках. На рисунке 1 представлен срез рудного тела по горизонту с вынесением бороздового опробования.

Сопоставление моделей ОК и Grade Copilot при помощи мультигистограммы и полостного графика. Видно гло-

бально несмещенную оценку и схожую форму гистограмм. Имеется хорошая сходимость вводных данных и рассчитанных значений в блоках блочных моделей (рис. 2).

Подводя итоги, можно сказать, что инструмент Grade Copilot в версии Micromine 2024 дает специалистам возможность быстро и качественно анализировать геологоразведочные данные, выявлять общие тенденции и взаимосвязи, возможность получать независимые оценки для заверки и сопоставления существующих моделей.

XXIX МЕЖДУНАРОДНАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ВЫСТАВКА

**СУРГУТ.
НЕФТЬ И ГАЗ
2024**

**25-27
СЕНТЯБРЯ**

+7 (3462) 94-34-54
sales@yugcont.ru
sngexpo.ru

XXIX INTERNATIONAL
SPECIALIZED
TECHNOLOGICAL EXHIBITION

**SURGUT.
OIL & GAS
2024**

г. Сургут,
СОК «Энергетик»
ул. Энергетиков, 47



4-7 июня 2024
Новокузнецк

XXXII Международная специализированная
выставка технологий горных разработок

УГОЛЬ и МАЙНИНГ **РОССИИ**

XIV Международная специализированная выставка

ОХРАНА, БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

IX Международная специализированная выставка

НЕДРА РОССИИ

ШИРЕ, ЧЕМ КУЗБАСС! ГЛУБЖЕ, ЧЕМ УГОЛЬ!



уголь



руды



промышленные минералы



охрана и безопасность труда



МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:
Выставочный комплекс «Кузбасская ярмарка»,
ул. Автотранспортная, 51, г. Новокузнецк,
т: 8 (800) 500-40-42



www.ugolmining.ru

12+

Код МРНТИ 52.13.15

А.Ж. Имашев, *А.М. Суимбаева, А.Ж. Ауелбекова, А.К. Матаев
НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»
(г. Караганда, Казахстан)

ОЦЕНКА РАЗУБОЖИВАНИЯ РУДЫ ПРИ ОТРАБОТКЕ МАЛОМОЩНЫХ КРУТОПАДАЮЩИХ ЗАЛЕЖЕЙ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье приведены результаты исследований по изучению напряженно-деформированного состояния приконтурного массива вокруг очистного блока и прогнозной оценке разубоживания руды с учетом изменения угла падения рудного тела при отработке маломощных рудных залежей на примере рудника «Жолымбет». Изучение особенностей формирования напряженно-деформированного состояния проводилось по методике, основанной на использовании численных методов исследований с учетом геологического индекса прочности (GSI). Результаты численного анализа методом конечных элементов по критерию прочности Хоук-Браун позволили оценить геомеханическое состояние в приконтурном массиве при условии изменения угла падения рудного тела и прогнозировать объем разубоживания руды. На основе результатов численного моделирования установлено, что при отработке рудных залежей малой мощности на прогнозное значение разубоживания руды оказывают влияние угол падения рудного тела и GSI.

Ключевые слова: разубоживание руды, маломощные крутопадающие залежи, численное моделирование, напряженно-деформированное состояние, геологический индекс прочности, критерий прочности Хоук-Браун.

Сандық модельдеу негізінде қуаты аз күртқұламалы кен денелерін қазып алу кезіндегі пайдалы қазбалардың құнарсыздануын бағалау

Аннотация. Мақалада «Жолымбет» кенішінің мысалында қуаты аз кен денелерін қазып өндіру кезінде кен денесінің құлау бұрышының өзгеруін ескере отырып, тазарту блогының айналасындағы контур маңындағы массивтің кернеулі-деформацияланған күйін зерттеу және кеннің құнарсыздануын болжамды бағалау бойынша зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Кернеулі-деформацияланған күйдің қалыптасу ерекшеліктерін зерттеу геологиялық беріктік индексі (GSI) ескере отырып, сандық зерттеу әдістерін қолдануға негізделген әдістеме бойынша жүргізілді. Хоук-Браун беріктік критерийі бойынша соңғы элементтер әдісімен сандық талдау нәтижелері кен денесінің құлау бұрышы өзгерген жағдайда контур маңындағы массивтегі геомеханикалық күйді бағалауға және кеннің құнарсыздануы көлемін болжауға мүмкіндік берді. Сандық модельдеу нәтижелеріне сүйеніп, аз қуатты кен орындарын игеру кезінде кеннің құнарсыздануының болжамды мәніне кен денесінің құлау бұрышы мен GSI әсер ететіндігі анықталды.

Түйінді сөздер: кеннің құнарсыздануы, қуаты аз кен орындары, сандық модельдеу, кернеулі-деформацияланған күй, геологиялық беріктік индексі, Хоук-Браун беріктік критерийі.

Assessment of ore dilution in the extraction of steeply inclined thin ore deposits based on numerical modeling

Abstract. The article presents the results of research on the study of stress-strain state of marginal rock mass around the stope and predictive assessment of ore dilution with regard for changes in ore body dip angle in mining thin ore deposits on the example of the Zholymbet mine. Study of the specific features of the stress-strain state development was accomplished applying the methodology based on numerical research methods taking into account the geological strength index (GSI). The results of numerical analysis of the stress-strain state of the marginal part of the rock mass using the finite element method after the Hoek-Brown strength criterion made it possible to assess the geomechanical state in the marginal mass provided there are changes in ore body dip angle and to predict the volume of ore dilution. It was ascertained that when mining thin ore deposits, the predicted value of ore dilution is influenced by the ore body dip angle and the GSI.

Key words: ore dilution, low-power steeply falling deposits, numerical modeling, stress-strain state, geological strength index, Hoek-Brown strength criterion.

Введение

Особенностью технологии освоения месторождений крутопадающих маломощных залежей системой подэтажных штреков является сверхплановое разубоживание руды за счет прихвата прилегающей толщи вмещающих горных пород. Следствием сверхпланового разубоживания является увеличение расходов на транспортировку излишней горной массы и обогащение руды за счет прихвата породного массива, что в конечном итоге приводит к увеличению себестоимости полезного ископаемого. Возникает экономическая целесообразность разработки технических мероприятий и дополнительного крепления отработанного пространства с целью предотвращения отслоения вмещающих пород в отбитую руду.

Важным фактором, который следует учитывать при управлении разубоживанием руды, является надлежащий проект эксплуатации рудника с точки зрения устойчивости массива горных пород. Обрушения вмещающих пород с кровли и боков выработок, связанные с неустойчивым состоянием массива (возможными зонами неупругих деформаций), не только представляют угрозу для общей безопасности горняков, но и в значительной степени способствуют увеличению объема разубоживания руды [1]. Для

снижения разубоживания требуется комплекс исследований структурных и прочностных свойств горных пород, напряженно-деформационного состояния (НДС) массива, сейсмического воздействия буровзрывных работ и т.д.

Целью исследования является изучение напряженно-деформированного состояния приконтурного массива горных пород вокруг очистного блока и прогнозная оценка разубоживания руды с учетом изменения угла залегания рудного тела при отработке маломощных рудных залежей (на примере рудника «Жолымбет»).

На месторождении «Жолымбет» принят подземный способ отработки с горизонтами 60 м и с использованием наклонных съездов. Длина жил по простиранию составляет 100-150 м, по падению до 100-150 м, мощность жил колеблется от 0,5 м до 3,0 м, угол падения обычно крутой, варьируется от 45° до 80°. Плотность породы в среднем равна 2,7 т/м³. Исходя из горно-геологических условий залегания рудных залежей и горнотехнических возможностей рудника, принята система разработки подэтажных штреков. При данной системе жила разбивается по простиранию и падению на блоки со следующими параметрами: длина блока по простиранию жилы 120 м; высота блока по простиранию на всю высоту этажа по падению

рудного тела с разбивкой на подэтажи 15 м. На руднике при ведении очистных работ происходит свёрхплановое разубоживание руды и фактические показатели разубоживания достигают до 70-75%, при утвержденных проектных показателях разубоживания не более 38% [2].

Методы исследования

Для исследования возможных зон разрушения приконтурного массива и прогноза разубоживания руды при отбойке маломощных рудных тел для условий рудника «Жолымбет» выполнено численное моделирование НДС массива горных пород методом конечных элементов [3]. В качестве исходной модели выбран блок с размерами по высоте 15 м и шириной 1,5 м. Подготовка исходных данных для численного анализа выполнена с помощью программного обеспечения «RSDData», которое дает возможность определить параметры прочности массива горных пород на основе критериев разрушения Hoek-Brown [4] и Mohr-Coulomb [5].

Одним из основных составляющих исходных данных является геологический индекс прочности (GSI). Параметр GSI является результатом исследований Е. Хока и Е.Т. Брауна по изучению структурных особенностей и свойств горных пород. Классификация все время совершенствуется в зависимости от запросов, вытекающих из практики проектирования. В одном из последних исследований Е. Хока и Е.Т. Брауна предложено определять индекс GSI следующим образом [6]:

$$GSI = 1.5 * JCond_{89} + \frac{RQD}{2}, \quad (1)$$

где $JCond_{89}$ – это параметр рейтинговой классификации трещиноватости горных пород, которая определяется в соответствии с методикой Международного общества по механике горных пород (ISRM) [7];

RQD – показатель качества горной породы [8].

При оценке геомеханического состояния массива горных пород использованы данные геологической службы рудника «Жолымбет» [9]. По характеристикам керна данных скважин горные породы разделены на три домена:

1 – выветрелые породы до глубины 30-40 м, $RQD = 12-34$ (категория горной породы «слабые»);

2 – слабыветрелые алевропесчаники, окварцованные массивной текстурой, $RQD = 50-72$ (категория горной породы «средние»);

3 – габбро-диориты зеленовато-серые, плотные, массивные, $RQD = 72-78$ (категория горной породы «крепкие»).

Так как на руднике «Жолымбет» рудные жилы малой мощности залегают на глубине от 800 м, для определения индексов GSI значения RQD приняты от 50 до 80.

В результате проведенных шахтных исследований на руднике «Жолымбет» в ходе съемки трещиноватости определены показатели рейтинга, слагающие $JCond_{89}$ ($JA4$) согласно методике ISRM, значения в баллах приведены в таблице 1.

Таблица 1

Рейтинговые оценки геологической характеристики трещиноватости JA4 для условий месторождения «Жолымбет»

Кесте 1

«Жолымбет» кен орнының жағдайлары үшін JA4 тасжарықтардың геологиялық сипаттамасының рейтингтік бағалары

Table 1

Rating assessments of geological characteristics JA4 of fracturing for conditions of the Zholymbet deposit

Параметр	Интервалы значений				
A4. Характеристика трещин ($JCond_{89}$)					
A4.1. Шероховатость трещин	Очень шероховатые	<i>Шероховатые</i>	Слегка шероховатые	Гладкие поверхности	Следы скольжения
Рейтинг JA41	6	5	3	1	0
A4.2. Длина трещин	< 1 м	1-3 м	3-10 м	10-20 м	> 20 м
Рейтинг JA42	6	4	2	1	0
A.4.3. Раскрытие трещин	Нет	< 0,1 мм	0,1 - 1,0 мм	1 - 5 мм	> 5 мм
Рейтинг JA43	6	5	4	1	0
A4.4. Заполнитель трещин	Нет	Твердый заполнитель < 5 мм	Твердый заполнитель > 5 мм	Мягкий заполнитель < 5 мм	Мягкий заполнитель > 5 мм
Рейтинг JA44	6	4	2	2	0
A4.5. Выветрелость стенок трещин	Нет	<i>Слегка выветрелые</i>	Средне выветрелые	Сильно выветрелые	Раздробленные
Рейтинг JA45	6	5	3	1	0
$JCond_{89} = JA4 = JA41 + JA42 + JA43 + JA44 + JA45 = 5 + 2 + 1 + 2 + 5 = 15$					

Таким образом, в результате комплекса геотехнических исследований определены GSI согласно формуле (1) для

различных значений RQD и подготовлены исходные данные для численного моделирования (таблица 2).

Исходные данные для численного моделирования

Таблица 2

Кесте 2

Сандық модельдеуге арналған бастапқы деректер

Table 2

Initial data for numerical modeling

Тип породы	RQD	GSI	Прочность породы, $\sigma_{ср}$, МПа	Плотность породы, т/м ³	Нарушение массива взрывными работами, D	Параметр ненарушенной породы, m_i
Алевропесчаники	50	48	82	2,65	0	17
Алевропесчаники	60	53	82	2,65	0	17
Габбро-диориты	70	58	103	2,76	0	25
Габбро-диориты	80	63	103	2,76	0	25

Для численного анализа НДС приконтурного массива и прогнозной оценки разубоживания руды в программе «RS2» реализованы 16 моделей, с учетом изменения GSI (48, 53, 58, 63) и углом залегания рудного тела от 55° до 85° м. Численный анализ НДС массива проведен в соответствии с фактическим горизонтом разработки и следующими параметрами очистного блока: глубина разработки 800 м; высота очистного блока 45 м; высота подэтажа 15 м; ширина 1,5 м; угол залегания рудного тела от 55° до 85°.

В результате моделирования определяются площади возможных зон разрушений вокруг очистного блока. Площади участков приконтурного массива, которые, как ожидается, могут обрушиться, рассчитываются с использованием ПО «AutoCAD», то есть с помощью данной программы выполняется количественное измерение площадей возможных зон обрушения. В условиях, когда руда и порода имеют одинаковый удельный вес, коэффициент разубоживания руды рассчитывается по уравнению [10]:

$$\text{Коэффициент обрушения} = \text{Коэффициент разубоживания} = \frac{100 \text{ Площадь зоны обрушения (м}^2\text{)}}{\text{Площадь поверхности очистного забоя (м}^2\text{)}} \quad (2)$$

Результаты и обсуждения

В рамках данной работы обсуждение результатов численного моделирования всех 16 вариантов моделей не представляется возможным, поэтому целесообразно провести анализ НДС массива вокруг очистного блока и дать прогнозную оценку разубоживания руды для минимального и максимального значения GSI. Таким образом, далее будут представлены результаты численного моделирования при GSI = 48 и GSI = 63 для углов залегания рудного тела от 55° до 85°. Основным показателем для оценки устойчивости и анализа НДС массива горных пород вокруг очистного блока является фактор прочности (Strength Factor), который представляет собой отношение возможной прочности горной породы к вызванному напряжению в рассматриваемой точке.

Анализ картины распределения изолиний по фактору прочности показал, что при моделировании случая, когда GSI = 48 (алевропесчаник) наблюдается равномерное распределение запаса прочности по контуру очистного блока, заметны незначительные деформации по кровле, а также перераспределение нагрузки на бока очистного блока и прогнозируется обрушение под собственным весом по причине структурного ослабления массива, слабого сцепления пород между собой из-за влияния взрывных работ и в дальнейшем возможны обрушения горной массы (рисунок 1а). Площадь возможной зоны обрушения изменяется в зависимости от угла падения рудного тела, от 97,8 м² при 55° до 80,5 м² при 85° соответственно.

При моделировании случая, когда GSI = 63 (габбро-диориты) наблюдаются неравномерные распределения изолиний запаса прочности и контуры отличаются от предыдущих вариантов, в боках очистных блоков прогнозируются возможные зоны разрушения массива (рисунок 1б). Площади возможных зон обрушения изменяются в зависимости от угла падения рудного тела, от 43,2 м² при 55° м до 30,1 м² при 85° соответственно. По сравнению с предыдущим случаем (GSI = 48), площади возможных зон обрушения снижаются почти в 2,5 раза. Таким образом, при GSI = 63 наблюдается увеличение запаса прочности и уменьшение объема и площади возможного обрушения вокруг очистного блока, это связано с изменением прочностных свойств и структурных особенностей массива горных пород.

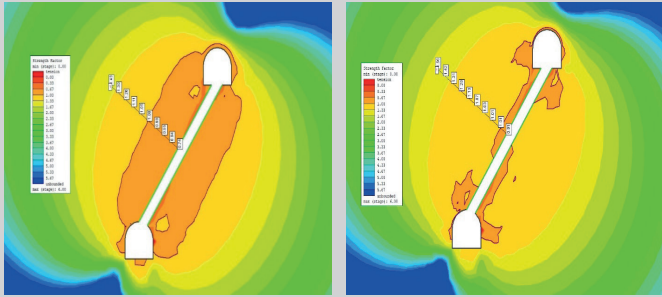
В результате численного моделирования определены площади возможных зон разрушений вокруг очистного блока для всех 16 вариантов моделей, результаты которых приведены на сводном графике (рисунок 2).

На основе результатов численного моделирования о площади возможной зоны обрушения вокруг очистного блока, по формуле (2) определены прогнозные значения разубоживания руды для каждой исследуемой модели с учетом изменения GSI (48, 53, 58, 63) и угла падения рудного тела от 55° м до 85°. На рисунке 3 представлена сводная и сравнительная диаграмма изменения прогнозных

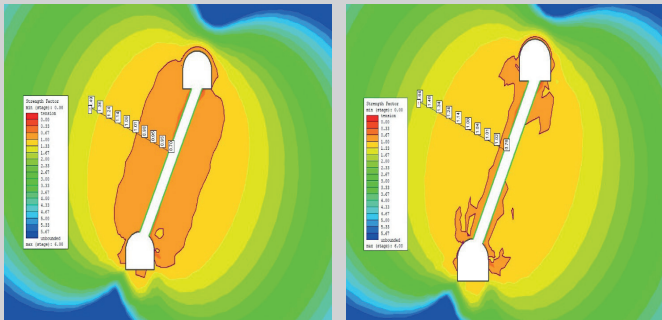
a) GSI = 48

б) GSI = 63

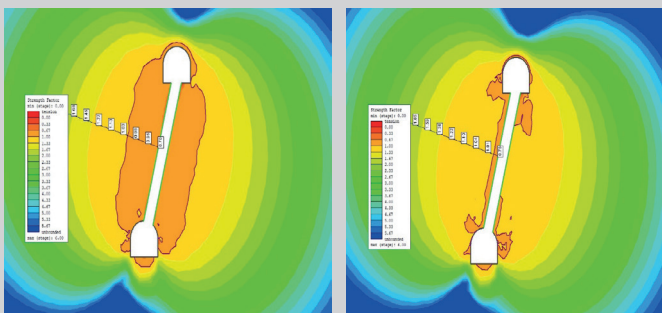
Угол падения рудного тела 55°



Угол падения рудного тела 65°



Угол падения рудного тела 75°



Угол падения рудного тела 85°

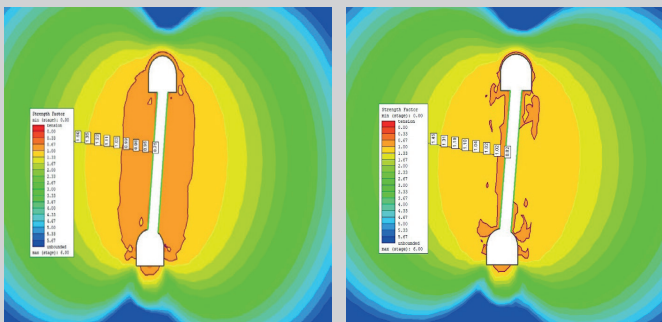


Рис. 1. Площади возможных зон разрушений при GSI = 48 и GSI = 63 при углах падения рудного тела от 55° до 85°

Сурет 1. 55°-тан 85°-қа дейінгі кен денесінің түсу бұрыштарындағы GSI = 48 және GSI = 63 ықтимал бұзылу аймақтарының аудандары.

Figure 1. Areas of possible fracture zones at GSI = 48 and GSI = 63 at dip angles of the ore body from 55° to 85°.

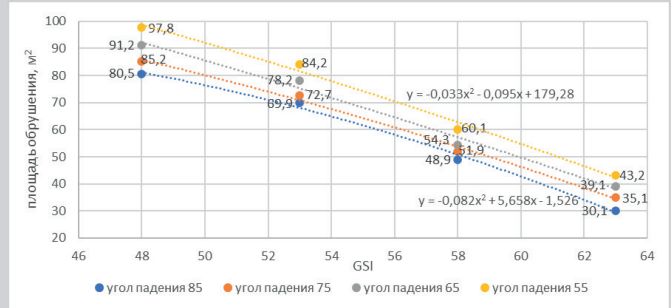


Рис. 2. График зависимости площади возможной зоны обрушения в зависимости от показателя GSI.

Сурет 2. GSI көрсеткішіне байланысты ықтимал құлау аймағы аудандарының графигі.
Figure 2. Graph of the dependence of the area of a possible collapse zone depending on the GSI indicator.

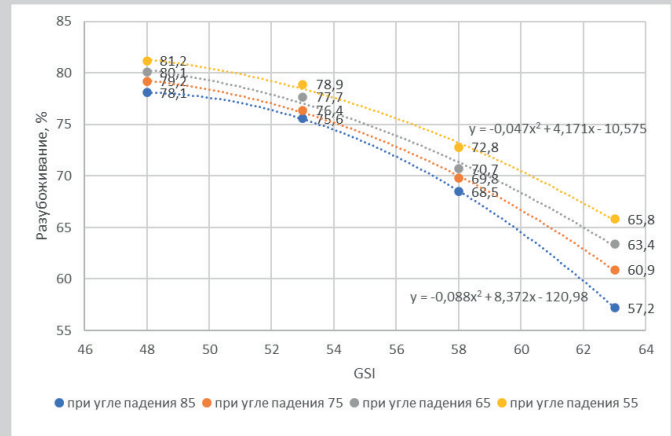


Рис. 3. График изменения прогнозных значений разубоживания руды в зависимости от GSI.

Сурет 3. GSI-ге байланысты кеннің құнарсыздануының болжамды мәндерінің өзгеру графигі.
Figure 3. Graph of changes in the forecast values of ore dilution depending on GSI.

значений разубоживания руды в зависимости от GSI при обработке маломощных рудных жил.

Результаты исследования показывают, что на прогнозные значения разубоживания руды оказывают влияние угол залегания рудного тела и геологический индекс прочности, который учитывает геологические особенности породного массива, его структуру и трещиноватость. Установлена зависимость показателя разубоживания руды от показателя GSI при углах падения рудного тела от 55° до 85°.

Необходимо отметить, что при проведении численного анализа детально не учитывалось сейсмическое влияние силы взрыва на законтурный массив горных пород. В дальнейших исследованиях планируется проведение исследований по установлению закономерности изменения показателя нарушенности массива взрывными работами в зависимости от категории устойчивости горных пород. Это позволит сделать корректировку геомеханической

модели при численном анализе и более корректно оценивать геомеханическое состояние и прогнозировать разубоживание руды при отработке маломощных рудных тел.

Заключение

По результатам проведенного численного анализа можно полагать, что при разработке маломощных месторождений на прогнозные значения разубоживания руды оказывают влияние угол падения рудного тела и геологический индекс прочности (GSI). Анализ результатов исследования показал, что с уменьшением показателя GSI наблюдается снижение запаса прочности и увеличение площади возможного обрушения вокруг

очистного блока, соответственно увеличивается объем разубоживания руды за счет прихвата прилегающей толщи вмещающих горных пород. Дальнейшее направление исследований заключается в совершенствовании методики определения параметров буровзрывных работ с учетом рейтинга GSI для условий отработки маломощных рудных тел системами с обрушением руды и вмещающих пород.

Благодарности

Исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №API3268891).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Имашев А. Обзорный анализ современных методов определения разбавления руды. / А. Имашев, А. Суимбаева, Д. Махмудов, А. Ауелбекова. // Труды университета. 2023. №3 (92). С. 166-171 (на английском языке)
2. План горных работ «Корректировка плана горных работ разработки запасов месторождения Жолымбет» №12-04-03-19594. Пояснительная записка. Том 1. Книга 1. г. Степногорск, 2022 (на английском языке)
3. Erhunmwun I.D. Обзор метода конечных элементов. / I.D. Erhunmwun, U.B. Ikpomwonsa. // Журнал прикладных наук и экологического менеджмента. 2017. Вып. 21 (5). С. 999-1002 (на английском языке)
4. Ноек Е. Критерий разрушения Хука-Брауна и издание GSI-2018. / Е. Ноек, Е.Т. Brown. // Журнал механики горных пород и геотехнической инженерии. 2019. №11. С. 445-463 (на английском языке)
5. Hackston A. Критерий Мора-Кулона для прочности и трения неповрежденных горных пород – переоценка и учет разрушения при многоосных напряжениях. / А. Hackston, Е. Rutter. // Твердая Земля. 2016. №7. С. 493-508 (на английском языке)
6. Ноек Е., Carter T., Diederichs M. Количественная оценка диаграммы индекса геологической прочности. // Материалы 47-й Американской конференции по механике горных пород. Симпозиум по геомеханике, Сан-Франциско, США, 2013. – С. 1-8 (на английском языке)
7. ISRM предложила методы определения характеристик горных пород, тестирования и мониторинга: 2007-2014. / Под редакцией R. Ulusay. Springer, 2015, 293 с. (на английском языке)
8. Имашев А. Исследование напряженно-деформированного состояния массива под карьером при изменении ширины дна карьера. / А. Имашев, А. Суимбаева, Ш. Зейтинова, А. Куттыбаев, Г. Жунусбекова, А. Мусин. // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2022. Т. 16. Вып. 3. С. 61-66 (на английском языке)
9. Суханова А. Определение рейтинга массива горных пород по геомеханической классификации MRMR для условий месторождения Жолымбет. / А. Суханова, Г. Камбетова. // Молодой ученый. 2020. №14 (304). С. 130-133 (на английском языке)
10. Delentas A. Анализ условий стабильности и разубоживания руды при добыче подземным способом. / А. Delentas, А. Benardos, Р. Nomikos. // Минералы. 2021. Т. 11. С. 1404 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Имашев А. Кенді сұйылтуды анықтаудың заманауи әдістеріне шолу талдауы. / А. Имашев, А. Суимбаева, Д. Махмудов, А. Әуелбекова. // Университет еңбектері. 2023. №3 (92). Б. 166-171 (ағылшын тілінде)
2. №12-04-03-19594 «Жолымбет кен орнының қорларын игерудің тау-кен жұмыстарының жоспарын түзету» тау-кен жұмыстарының жоспары түсіндірме жазба. 1 Том. Кітап 1. Степногорск, 2022 (ағылшын тілінде)
3. Erhunmwun I.D. Соңғы элементтер әдісіне шолу. / I.D. Erhunmwun, U.B. Ikpomwonsa. // Қолданбалы ғылымдар және қоршаған ортаны басқару журналы. 2017. Т. 21 (5). Б. 999-1002 (ағылшын тілінде)
4. Ноек Е. Хук-Браунның жойылу критерийі және GSI-2018 басылымы. / Е. Ноек, Е.Т. Brown. // Тау жыныстары механикасы және геотехникалық инженерия журналы. 2019. №11. Б. 445-463 (ағылшын тілінде)

5. Hackston A. Бүлінбеген тау жыныстарының беріктігі мен үйкелісіне арналған Мор-Кулон критерийі – көп осьті кернеулерде қайта бағалау және бұзылуды есепке алу. / A. Hackston, E. Rutter. // Қатты жер. 2016. №7. Б. 493-508 (ағылшын тілінде)
6. Hoek E., Carter T., Diederichs M. Геологиялық беріктік индексінің диаграммасын сандық бағалау. // 47-ші американдық тау жыныстары механикасы конференциясының материалдары. Геомеханика симпозиумы, Сан-Франциско, АҚШ, 2013. – Б. 1-8 (ағылшын тілінде)
7. ISRM тау жыныстарының сипаттамаларын анықтау, тестілеу және бақылау әдістерін ұсынды: 2007-2014. / Редакциялаған R. Ulusay. Springer, 2015, 293 б. (ағылшын тілінде)
8. Имашев А. Карьер түбінің ені өзгерген кезде Карьер астындағы массивтің кернеулі деформацияланған күйін зерттеу. / А. Имашев, А. Суимбаева, Ш. Зейтинова, А. Куттыбаев, Г. Жүнісбекова, А. Мусин. // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. 2022. Т. 16. Шығ. 3. Б. 61-66 (ағылшын тілінде)
9. Суханова А. Жолымбет кен орнының жағдайлары үшін MRMR геомеханикалық жіктемесі бойынша тау жыныстары массивінің рейтингін анықтау. / А. Суханова, Г. Камбетова. // Жас ғалым. 2020. №14 (304). Б. 130-133 (ағылшын тілінде)
10. Delentas A. Жер асты өндірісіндегі кеннің тұрақтылығы мен ыдырау жағдайларын талдау. / A. Delentas, A. Benardos, P. Nomikos. // Минералдар. 2021. Т. 11. Б. 1404 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Imashev A. Review analysis of modern methods for determining ore dilution. / A. Imashev, A. Suimbayeva, D. Makhmudov. // Proceedings of the University. 2023. №3 (92). P. 166-171 (in English)
2. Mining plan «Adjustment of the mining plan for the development of reserves of the Zholymbet deposit» No. 12-04-03-19594 Explanatory note. Vol. 1. Book 1. Stepnogorsk, 2022 (in English)
3. Erhunmwun I.D. Review on Finite Element Method. / I.D. Erhunmwun, U.B. Ikonmwonsa. // Journal of Applied Sciences and Environmental Management. 2017. Vol. 21 (5). P. 999-1002 (in English)
4. Hoek E. The Hoek-Brown failure criterion and GSI-2018 edition. / E. Hoek, E.T. Brown. // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2019. №11. P. 445-463 (in English)
5. Hackston A. The Mohr-Coulomb criterion for intact rock strength and friction – a reevaluation and consideration of failure under polyaxial stresses. / A. Hackston, E. Rutter. // Solid Earth. 2016. №7. P. 493-508 (in English)
6. Hoek E., Carter T., Diederichs M. Quantification of the geological strength index chart. // Proceedings of the 47th US Rock Mechanics. Geomechanics Symposium, San Francisco, USA, 2013. – P. 1-8 (in English)
7. The ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 2007-2014. / Edited by R. Ulusay. Springer, 2015. 293 p. (in English)
8. Imashev A. Research into stress-strain state of the mass under open pit with a change in the open-pit bottom width. / A. Imashev, A. Suimbayeva, Sh. Zeitinova, A. Kuttybayev, G. Zhunusbekova, A. Mussin. // Mining of Mineral Deposits. 2022. Vol. 16. Issue 3. P. 61-66 (in English)
9. Sukhanova A. Determination of the rock mass rating according to the MRMR geomechanical classification for the conditions of the Zholymbet deposit. / A. Sukhanova, G. Kambetova. // Young scientist. 2020. №14 (304). P. 130-133 (in English)
10. Delentas A. Analyzing Stability Conditions and Ore Dilution in Open Slope Mining. / A. Delentas, A. Benardos, P. Nomikos. // Minerals. 2021. Vol. 11. P. 1404 (in English)

Сведения об авторах:

Имашев А.Ж., PhD, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), a.imashev@kstu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-9799-8115>

Суимбаева А.М., PhD, и.о. доцента кафедры «Рудничная аэрология и охрана труда» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), suimbayeva.aigerim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6582-9977>

Ауелбекова А.Ж., старший преподаватель кафедры «Рудничная аэрология и охрана труда» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), gracio888@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8340-6177>

Матаев А.К., PhD, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), mataev.azamat@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9033-8002>

Авторлар туралы мәліметтер:

Имашев А.Ж., PhD, қауымдастырылған профессор, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ «Гайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының менгерушісі (Қарағанды қ., Қазақстан)

Суимбаева А.М., PhD, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ «Кеніштік аэрология және еңбекті қорғау» кафедрасы доцентінің м.а. (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ауелбекова А.Ж., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ «Кеніштік аэрология және еңбекті қорғау» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Матаев А.К., PhD, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

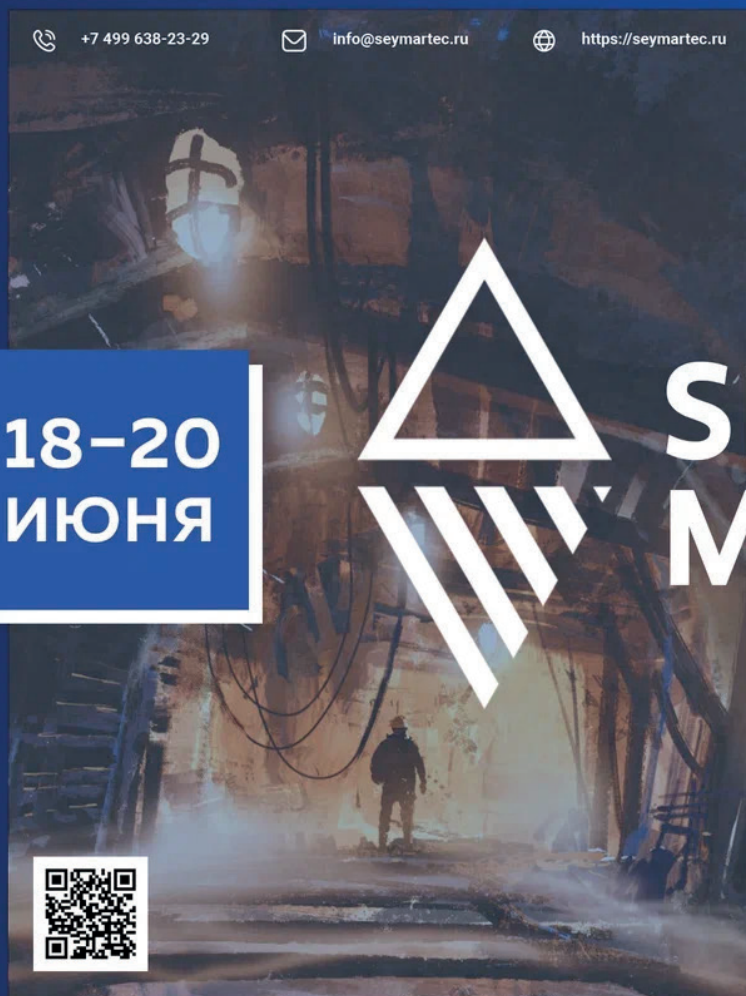
Information about the authors:

Imashev A.Zh., PhD, Associate Professor, Head of the Department «Development of mineral deposits» NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Suimbayeva A.M., PhD, Acting Associate Professor of the Department of «Mining Aerology and Labor Protection» NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Auelbekova A.Zh., Senior lecturer of the Department of «Mining Aerology and Labor Protection» NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Mataev A.K., PhD, senior lecturer of the department «Development of mineral deposits» NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)



ЧЕЛЯБИНСК | ОТЕЛЬ «RADISSON BLU»

VIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

SEYMARTEC MINING

ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО
ПРОИЗВОДСТВА – 2024

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ И ДОКАЗАННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ



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



ME FIT Grinding

Изнашиваемые детали для мельниц
и дробилок всех типов

- | | |
|-----------------------|----------------|
| ■ Полусамоизмельчения | ■ Гиращионных |
| ■ Самоизмельчения | ■ Щековых |
| ■ Шаровых | ■ Конусных |
| ■ Стержневых | ■ Вертикальных |

ME Elecmetal

тел.:

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

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

Код МРНТИ 37.31.15:38.57.23

А. Шарапатов, Г.А. Кабдихова, *Н.А. Асирбек, А.Б. Садуов
КазННТУ им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

ПЛОТНОСТНЫЕ И МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОД ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ САРЫСУ-ТЕНИЗСКОГО ПОДНЯТИЯ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)

Аннотация. Район находится на южной окраине Тенизской впадины. Он относится к известной рудной провинции – Центральному Казахстану. Разнообразие полиметаллических оруденений в районе связано с полифациальностью магматических образований Сарысу-Тенизского поднятия. Выбор оптимальных для решения геопрогнозных задач методов разведочной геофизики, оценка уровня их геологической информативности осуществляется детальным изучением петрофизических параметров горных пород по территории исследования. Проведены сбор и анализ большого объема геологических и петрофизических сведений. По диапазонам изменения значений свойств выполнено группирование горных пород. Таких групп по значениям плотностей – 6. По магнитной восприимчивости горные породы разделены на 4 группы – от немагнитных до сильномагнитных. Результаты систематизации данных по физическим свойствам позволяют прогнозировать состав источников гравимагнитных аномалий.

Ключевые слова: Сарысу-Тенизское поднятие, металлогенические зоны, рудоперспективные участки, петрофизика, плотность, магнитная восприимчивость, источники аномального поля.

Сарысу-Теніз көтерілімі (Орталық Қазақстан) таужыныстарының тығыздық және магниттік сипаттамалары

Аңдатпа. Аудан Теніз ойысының оңтүстік шетінде орналасқан, белгілі рудалы провинцияға – Орталық Қазақстанға жағады. Аудандағы полиметаллды минералданудың әртүрлілігі Сарысу-Теніз көтерілімінде магмалық түзілімдердің полифациалы болуымен байланысты. Геоологиялық болжауды орындау үшін геофизикалық әдістерді таңдау және олардың геологиялық мәліметтілігін бағалау таужыныстардың петрофизикалық параметрлерін терең зерттеулер арқылы орындалады. Сондықтан геологиялық, петрофизикалық мәліметтердің үлкен көлемі жинақталды және талданды. Құрылымның кимасындағы таужыныстар тығыздығы мен магниттік қасиеттерінің өзгеру аралықтары бойынша топтастырылды. Тығыздық мәндері бойынша аудандағы таужыныстар 6 топтан тұрады. Таужыныстардың магнит қабылдағыштығы бойынша 4 топқа бөлінді: магнитсізден бастап, магниттілігі күшті таужыныстарға дейін. Физикалық қасиеттер туралы мәліметтерді жүйелеу нәтижелері гравимагниттік аномалиялар көздерінің табиғатын болжауға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: Сарысу-Теніз көтерілімі, металлогениялық аймақтар, рудаға перспективалы учаскелер, петрофизика, тығыздық, магнит қабылдағыштық, аномалиялы өріс.

Density and magnetic characteristics of rocks in the eastern part of the Sarysu-Teniz uplift (Central Kazakhstan)

Abstract. The area is located on the southern outskirts of the Teniz Basin and is part of the renowned ore province of Central Kazakhstan. The diversity of polymetallic ore occurrences in the region is linked to the polyfacial nature of the magmatic formations of the Sarysu-Teniz Uplift. The selection of optimal methods for exploratory geophysics to address geopredictive tasks, along with the assessment of their geological informativeness, is carried out through a detailed study of the petrophysical parameters of rocks across the research territory. A substantial amount of geological and petrophysical data has been collected and analyzed. Rocks have been grouped based on the range of property values: six groups were formed based on density values, and the rocks were divided into four groups based on magnetic susceptibility, from non-magnetic to highly magnetic. The systematic organization of data on physical properties allows for the prediction of the composition of sources of gravimagnetic anomalies.

Key words: Sarysu-Teniz uplift, metallogenic zones, ore-promising areas, petrophysics, density, magnetic susceptibility, sources of anomalous field.

Введение

Аktуальность исследований заключается в необходимости выбора и составления геологически эффективного метода или комплекса геофизических методов при выделении рудоперспективных объектов на медь, свинец, цинк и золото на рудоперспективных участках в восточной части Сарысу-Тенизского поднятия (Центральный Казахстан). Они расположены в зоне сочленения южной окраины Тенизской впадины, восточной части Сарысу-Тенизского поднятия и Сарысу-Тенизского сегмента девонского вулканоплутонического пояса [1-3].

Представления о геологическом строении района сложились после проведения геологических съемок масштаба 1:200 000 в 60-х годах 20-го века. Они значительно конкретизированы результатами геологических съемок масштаба 1:50 000, выполненных в 80-90-х годах (Кондрашенков И.И., Серых В.И. и другие, 1986 г., Гранкин М.С. и другие, 1991 г.) и обобщены в последующих публикациях [2-4]. Изучаемые площади находятся в пределах известной рудной провинции – Центрального Казахстана. Их металлогеническая специфика изучена казахстанскими и зарубежными специалистами-геологами с разной степенью детальности [3, 5-8].

В строении района отчетливо выделяется три структурных этажа: *позднекаледонский (геосинклинальный), орогенный (постгеосинклинальный) и складчатый комплекс наложенных прогибов. Нижний структурный этаж со-*

стоит из вулканогенно-морских образований базальтовой формации нижнего-среднего кембрия, кремнисто-терригенных отложений верхнего кембрия – нижнего-среднего ордовика, вулкаников андезитового, базальтового состава среднего-позднего ордовика и терригенной толщей нижнего силура. *Орогенный складчатый комплекс* объединяет складчатые и вулканические структуры девона: вулканогенные и осадочные образования тараншинской, желтымесской, талдысайской свит. *Складчатый комплекс наложенных прогибов* образован структурами верхнего девона – нижнего отдела каменноугольной системы карбонатно-терригенного состава.

В металлогеническом плане выделены три зоны (области): *Тенизская* (единичные пункты минерализации цинка – область изучена явно недостаточно), *Сарысу-Тенизская* (железо-марганцевое оруденение каражалского типа, инфильтрационно-остаточный тип рудопроявления марганца со свинцом и баритом) и *Восточно-Сарысу-Тенизская и Северо-Карасуский рудный узел* (оловянное оруденение касситерит-турмалиновой и касситерит-сульфидной) (рис. 1, Кондрашенков И. И., Серых В.И. и др., 1986 г.).

Для распознавания геологической природы геофизических полей и оценки выявленных аномалий необходимо иметь данные о физических свойствах пород, слагающих разрез и распространенных на поверхности, находящихся на контактах тектонических нарушений и другие. Сбор,

обработка и анализ фактических материалов по физическим свойствам пород позволяют выбрать наиболее информативные геофизические методы и поля для решения геопрогнозных задач и оценки пространственных положений, природы их источников [9-10].

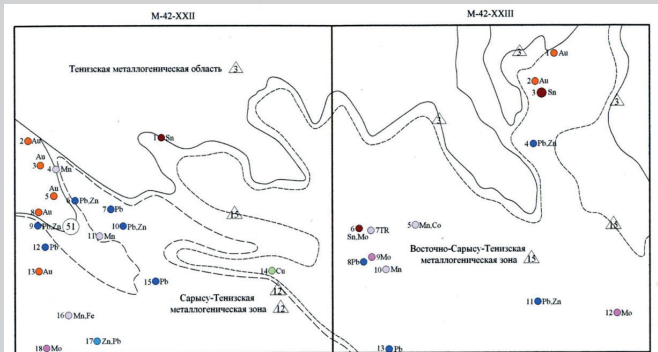


Рис. 1. Схема размещения рудных полезных ископаемых по району.

Сурет 1. Аудан бойынша рудалы пайдалы қазбалардың тарау сұлбасы.

Figure 1. Scheme of distribution of ore minerals in the region.

Подготовка физико-геологических основ выбора геологически информативных методов разведочной геофизики охватывает: систематизацию физических свойств (магнитных, плотностных) прогнозных объектов и вмещающей среды, которые в дальнейшем также могут использоваться для петрофизического обоснования интерпретации гравимагнитных полей; оценку возможностей наземных и аэрогеофизических методов с учетом геологических и петрофизических особенностей района изучения.

Методы и материалы

При изучении и систематизации петрофизических характеристик горных пород площади, приведенной на рисунке 1, было использовано группирование их по диапазонам изменения плотности (σ , г/см³), магнитной восприимчивости (χ , $n \cdot 10^{-5}$ единицы СИ). Проводились анализ и обобщение большого объема фактических геолого-геофизических материалов по Тенизской впадине, полученные в разные годы ее многоцелевого изучения (Мальченко Е.Г. и др. за 1974-1976 гг.; Дунай Г.С., Марков Н.А. и др. за 1981-1983 гг.; Бурканов Е.И., Маркина Л.А. и др. за 1983-1986 гг. и 1988 г.; Бродский А.В., Посметный Н.Ф. за 1986-1990 гг.; Кульшаров Х.И. и др. за 1991-1996 гг.; Глухов А.М., Климахина З.А., 2013 г.), и сведения из опубликованных работ исследователей района.

Приуроченность территории к зоне сочленения крупнейших структур Центрального Казахстана, напряженная тектоническая обстановка, широкое распространение полифациальных магматических образований (как обнажающихся на поверхности, так и прослеженных геофизическими методами на глубине) обусловили довольно высокую металлогеническую нагрузку площади, особенно в южной и восточной ее частях.

По территории исследования находятся в целом около тридцати рудоперспективных участков на цветные металлы: *Sn, Au, Pb, Zn, Cu, Mn, Co, Mo* с сопутствующими элементами – *Ag, As, Ba, Y, Fe, Ge, B, Bi, In, Be, W*. Кроме перечисленных видов минерального сырья в пределах территории широкое распространение имеют неметаллические полезные ископаемые: строительные материалы (известняки, песчаники, интрузивные породы, глины), облицовочные камни, агаты, присутствуют проявления барита, алунита, диаспора. Часть проявлений традиционно используется для нужд местного строительства, современное состояние освоения и перспективы других – не ясны.

Полифациальность магматических образований, многообразия и достаточно высокая металлогеническая нагрузка площади порождают необходимость повсеместного петрофизического изучения горных пород, определяющих геологическое строение района.

Результаты: характеристики плотности, магнитной восприимчивости пород района

Плотность пород. Всю совокупность горных пород площади (рис. 1) по плотности условно можно разделить на шесть плотностных групп.

К первой группе относятся габбро-диориты Кырыккудыкского комплекса (*O_{3k}*), слагающие фации эндоконтакта интрузивных массивов. Они обладают аномально высокими значениями плотности – 2,77-3,00 г/см³ (средняя – 2,90 г/см³). Повышенной плотностью характеризуются ороговикованные песчаники и туфы основного состава, входящие в кояндинскую свиту среднего-верхнего ордовика (*O_{2-3kn}*, $\sigma = 2,86$ г/см³). Породы распространены в западной части площади. Там же отмечаются незначительные выходы базальтов и андезитобазальтов карынбайской свиты нижнего-среднего кембрия (*E_{1-2kr}*) со средней плотностью $\sigma = 2,90$ г/см³; туфы с $\sigma = 2,86$ г/см³).

Плотность диабазов нижнего девона (*D₁*) достигает 2,93 г/см³, в среднем составляя 2,85 г/см³.

В эту же группу входят железенные породы русаковской свиты нижнего карбона (*C_{1rs}*, $\sigma = 2,95$ г/см³), выходящие на поверхность небольшими площадями преимущественно в северной половине исследуемой площади.

Ко второй группе пород, характеризующимися средними значениями плотности 2,70-2,77 г/см³, отнесены ороговикованные терригенные породы нерасчлененного ордовика (*O*), вулканогенно-терригенные образования савидской свиты (*O_{2sv}*), терригенные отложения нижнего силура (*S₁*) и базальты верхней толщи живетского-франского возраста (*D_{2zv-D_{3f}}*). На исследуемой территории обозначенной плотностью обладают базальтовые и андезитобазальтовые порфириды тараншинской свиты (*D_{1tr}*, $\sigma = 2,71$ г/см³), раннедевонские гранодиориты (*γδD₁*) Беладырского массива ($\sigma = 2,75$ г/см³, крайний восток площади) и ранне-среднедевонские трахиандезитовые порфириды субвулканической фации (*та, π D₁₋₂*), диориты кырыккудыкского комплекса (*δO₃*, $\sigma = 2,70$ г/см³).

Третья петроплотностная группа объединяет весьма обширную и дифференцированную по возрасту, генезису и литолого-фациальному составу группу образований. Для нее характерны плотности от 2,64 г/см³ до 2,69 г/см³.

К данной группе отнесены доломитизированные известняки нижнего турне (C_1t) и известняки сульфидеровой свиты (D_3, sl); туфопесчаники, дацитовые и андезитовые порфиры нижнего-среднего девона ($\zeta, ал D_{2,3}$); диориты карамендинского комплекса (δD_1) и сиено-грано-диориты среднедевонского ($\zeta\gamma\delta D_2$) интрузивного комплекса; субвулканические тела трахиандезитовых порфиритов ($\tau\alpha D_{2,3}$) и жильная кварц-турмалиновая порода.

Четвертая петроплотностная группа объединяет породы с плотностями 2,54-2,63 г/см³. К группе относятся пирокластические образования средне-верхнего ($D_{2,3}$) и нижнего-среднего девона ($D_{1,2}$), эффузивные и интрузивные породы кислого состава и терригенные образования нижнего карбона (C_1).

Пятая группа пород, объединяющая породы с плотностью от 2,42 г/см³ до 2,53 г/см³, включает в себя карбонатно-терригенные отложения нижнего-среднего визе ($C_1\nu_{1,2}$).

Шестая группа пород характеризуется наиболее низкими значениями плотности – от 2,41 г/см³ и менее (средневзвешенное $\sigma = 2,30$ г/см³). Она представлена кремненными известняками и мергелями ишимской (C_1is) и русаковской (C_1rs) свит. Породы выступают, как реперный горизонт аномально низкой плотности.

Магнитная восприимчивость пород. К первой группе относятся практически все осадочные и хемогенные образования силура, девона и карбона, а также часть осадочных образований ордовика. Каменноугольные и девонские песчаники, алевролиты, известняки, мергели характеризуются $\chi = 0-20 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Магнитное поле характеризуется отрицательными значениями и спокойным характером поля.

Из магматических пород к этой группе относятся породы, главным образом, кислого ряда: риолиты, биотитизированные гранодиориты, граносиениты, гранит-порфиры, а также вторичные кварциты. Средние значения магнитной восприимчивости гранитов $\chi = 69 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, гранит-порфиритов $\chi = 44 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, каолинизированных и щелочных гранитов $\chi = (6-9) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ.

Метаморфические образования докембрия практически немагнитны – в основном $\chi = (0-50) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. В этой группе относительно незначительной повышенной магнитной восприимчивостью – $(50-100) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ отличается ряд метаморфических пород докембрия.

Вторую группу составляют грубообломочные и пирокластические образования нижнего девона, песчаники

и конгломераты ордовика, трахиандезиты и трахитовые порфиры.

Ко второй группе со значениями магнитной восприимчивости от 100 до $500 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ (иногда до $700 \cdot 10^{-5}$ СИ, что может быть отнесено к третьей группе), можно условно отнести нижнекаменноугольные мергели, алевролиты и песчаники со средним значением магнитной восприимчивости $175 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, туфы риолитовых порфиритов со средним значением магнитной восприимчивости $114 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и туфы кварцевые порфиритов ($\chi = 163 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), а также субвулканические интрузии риолитовых порфиритов со средним значением $115 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Вся нижнекаменноугольная осадочная толща характеризуется наличием в своем составе как слабо- и среднемагнитных, так и совсем немагнитных пород.

Среднедевонские риолитовые порфиры субвулканической фации при средней магнитной восприимчивости $115 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ имеют смещение в сторону немагнитных пород (80% образцов).

Сильномагнитными породами четвертой группы с $(1000-5600) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ являются ороговикованные породы основного состава куяндинской свиты, туфоосадочные и эффузивные отложения савидской и куяндинской свит.

Магнитная восприимчивость интрузивных пород изменяется от 0 у гранитов до $5220 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ у габбро-диоритов, подчиняется общим закономерностям, то есть с повышением основности увеличивается.

Заключение и вывод

Результаты группирования горных пород рудоперспективной площади по плотностным и магнитным свойствам, анализ дифференциации их значений для основных литологических разностей показали, что:

1. Основными источниками аномалий в поле силы тяжести на площади исследования являются образования собственно-геосинклинального складчатого комплекса и интрузивные породы;

2. Магнитные объекты – источники аномальных значений магнитного поля сосредоточены в разрезе от среднего девона. Количество магнитных пород увеличивается вниз по разрезу. Совместно с интрузивными образованиями среднего и основного ряда отложения девона, силура и ордовика могут создать довольно сложную картину магнитного поля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коллектив авторов. Геология СССР. Том XX. Центральный Казахстан. Геологическое описание. Книга 2. М.: Недра, 1972, С. 380 (на русском языке)
2. Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н. Геологическое строение и этапы тектонической эволюции палеозойд Казахстана. Литосфера, 2019, Т. 19. №3, С. 347-371 (на русском языке)
3. Роман А.Т. Изучение структурно-тектонической позиции и минерализации жаильминской грабен синклинали: дис. на соискание степени д-ра философии (PhD). Караганда, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова: 2022. 155 с. (на русском языке)
4. Коробаяева А.Н. Тектонические факторы накопления примесных элементов на Шубаркольском угольном месторождении (Казахстан). / А.Н. Коробаяева, V.S. Portnov, S.P. Kim, A. Atangeldykyzy, N.S. Askarova. // Научный вестник Национального горного университета. 2021. №5. С. 11-15 (на английском языке)

5. Cossette P.M., Bookstrom A.A., Hayes T.S., Robinson G.R., Jr. Wallis J.C., and Zientek M.L. Оценка содержания меди в песчаниках бассейна Тенгиз, Казахстан: отчет о научных исследованиях Геологической службы США за 2010-5090 гг., 2014, 42 с. и пространственные данные (на английском языке)
 6. Korobkin V.V. Тектоника и геодинамика Западно-Центральноазиатского складчатого пояса (Казахстанские палеозоиды). / V.V. Korobkin, M.M. Buslov. // Российская геология и геофизика. 2011. Т. 52. С. 1585-1603 (на английском языке)
 7. Aidarbekov Zh.K. Классификация геофизических полей при изучении геологических и структурных особенностей Жезказганского рудного района. / Zh.K. Aidarbekov, S.A. Istekova. // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан, серия геолого-технических наук. 2022. Т. 2. №452. С. 33-48 (на английском языке)
 8. Vlackbourn G. Статья о поиске и открытиях. // Нефтяная геология Казахстана. Зап. Лотиан, Великобритания, 2015. №10711 (на английском языке)
 9. Sharapatov A. Возможности геофизических методов в оценке перспектив и обнаружении медьсодержащих локализаций западного Прибалхашья. / A. Sharapatov, E.E. Taikulakov, N.A. Assirbek. // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан, серия геолого-технических наук. 2020. Т. 3. №441. С. 72-78 (на английском языке)
 10. Шарapatov A. Геомагнитные данные и использование их при решении задач геонаук. / А. Шарapatov, Б.Т. Жумабаев, А.Б. Садуов, Н. Асирбек. // Научно-технический и производственный Горный журнал Казахстана. 2023. №12 (224). С. 30-36 (на русском языке)
- ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**
1. Авторлар коллективі. КСРО геологиясы. XX Том. Орталық Қазақстан. Геологиялық сипаттамасы. Кітап 2. М.: Недра. 1972, Б. 380 (орыс тілінде)
 2. С.Г. Самыгин, Т.Н. Хераскова. Қазақстанның палеозоидтарының геологиялық құрылымы мен тектоникалық эволюциясының кезеңдері. Литосфера, 2019. Т. 19. №3, Б. 347-371 (орыс тілінде)
 3. Роман А.Т. Жайылма грабен синклиннің құрылымдық-тектоникалық позициясы мен минералогиясын зерттеу: философия докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған Диссертация. Қарағанды, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті: 2022. 155 б. (орыс тілінде)
 4. Коробаева А.Н. Шұбаркөл көмір кен орнында (Қазақстан) қоспа элементтерінің жинақталуының тектоникалық факторлары. / А.Н. Коробаева, V.S. Portnov, S.P. Kim, A. Amangeldyкузу, N.S. Askarova. // Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми хабаршысы. 2021. №5. Б. 11-15 (ағылшын тілінде)
 5. Cossette P.M., Bookstrom A.A., Hayes T.S., Robinson G.R., Jr. Wallis J.C. and Zientek M.L. Теңіз Бассейнінің құмтас мысын бағалау, Қазақстан: АҚШ геологиялық қызметінің ғылыми зерттеулері туралы есеп 2010-5090-R. 2014, 42 б. және кеңістіктік деректер (ағылшын тілінде)
 6. Korobkin V.V. Батыс Орта Азия Қатпарлы Белдеуінің тектоникасы мен геодинамикасы (Қазақстандық Палеозоидтар). / V.V. Korobkin, M.M. Buslov. // Ресей геологиясы және геофизикасы. 2011. Т. 52. Б. 1585-1603 (ағылшын тілінде)
 7. Aidarbekov Zh.K. Жезқазған кен ауданының геологиялық және құрылымдық ерекшеліктерін зерттеудегі геофизикалық кен орындарының жіктелуі. / Zh.K. Aidarbekov, S.A. Istekova. // Қазақстан Республикасы Ұлттық Ғылым Академиясының жаңалықтары, геология және техникалық ғылымдар сериясы. 2002. Т. 2. №452. Б. 33-48 (ағылшын тілінде)
 8. Vlackbourn G. Издеу және табу мақаласы. // Қазақстанның мұнай геологиясы. Батыс Лотиан. Ұлыбритания. 2015. №10711 (ағылшын тілінде)
 9. Sharapatov A. Геофизикалық әдістер батыс балқашқа дейінгі мыс мойынтіректерінің локализациясын перспективалық бағалау және анықтау мүмкіндіктері. / A. Sharapatov, E.E. Taikulakov, N.A. Assirbek. // Қазақстан Республикасы Ұлттық Ғылым Академиясының жаңалықтары, геология және техникалық ғылымдар сериясы. 2020. Т. 3. №441. Б. 72-78 (ағылшын тілінде)
 10. Шарapatov A. Геомагниттік деректер және оларды геоғылым мәселелерін шешуде қолдану. / А. Шарapatov, Б.Т. Жумабаев, А.Б. Садуов, Н. Асирбек. // Қазақстанның ғылыми-техникалық және өндірістік тау-кен журналы. 2023. №12 (224). Б. 30-36 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Kollektiv avtorov. Geologiya SSSR. Tom XX. Tsentral'nyi Kazakhstan. Geologicheskoe opisanie. Kniga 2. М.: Nedra, 1972, S. 380 [Team of authors. Geology of the USSR. Volume XX. Central Kazakhstan. Geological description. Book 2. М.: Nedra, 1972, P. 380] (in Russian)

2. *Samygin S.G., Kheraskova T.N. Geologicheskoe stroenie i etapy tektonicheskoi evolyutsii paleozoid Kazakhstana. Litosfera, 2019, T. 19. №3, S. 347-371 [Samygin S.G., Kheraskova T.N. The geological structure and stages of tectonic evolution of the paleozoic of Kazakhstan. Lithosphere, 2019. V. 19. №3. P. 347-371] (in Russian)*
3. *Roman A.T. Izuchenie strukturno-tektonicheskoi pozitsii i mineragenii zhail'minskoj graben sinklinali: dis. na soiskanie stepeni d-ra filosofii (PhD). Karaganda, Karagandinskii tekhnicheskii universitet imeni Abylkasa Saginova: 2022. 155 s. [Roman A.T. The study of the structural and tectonic position and mineralogy of the Zailma graben syncline: dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD). Karaganda, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov: 2022. 155 p.] (in Russian)*
4. *Kopobayeva A.N. Tectonic factors of impurity elements accumulation at the Shubarkol coal deposit (Kazakhstan). / A.N. Kopobayeva, V.S. Portnov, S.P. Kim, A. Amangeldykyzy, N.S. Askarova. // Scientific bulletin of the National Mining University. 2021. №5. P. 11-15 (in English)*
5. *Cossette P.M., Bookstrom A.A., Hayes T.S., Robinson G.R., Jr. Wallis J.C. and Zientek, M.L. Sandstone copper assessment of the Teniz Basin, Kazakhstan: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5090-R. 2014, 42 p. and spatial data (in English)*
6. *Korobkin V.V. Tectonics and geodynamics of the western Central Asian Fold Belt (Kazakhstan Paleozoides). / V.V. Korobkin, M.M. Buslov. // Russian Geology and Geophysics. V. 52. 2011. P. 1585-1603 (in English)*
7. *Aidarbekov Zh.K. Classification of geophysical fields in the study of geological and structural features of the zhezkazgan ore district. / Zh.K. Aidarbekov, S.A. Istekova. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, series of geology and technical sciences. 2022. V. 2. №452. P. 33-48 (in English)*
8. *Blackbourn G. Discovery Article. The Petroleum Geology of Kazakhstan. West Lothian, UK. 2015. №10711 (in English)*
9. *Sharapatov A. Geophysical methods capabilities in prospect evaluation and detection of copper-bearing localizations of western pre-Balkhash. / A. Sharapatov, E.E. Taikulakov, N.A. Assirbek. // News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan, series of geology and technical sciences. 2020. V. 3. № 441. P. 72-78 (in English)*
10. *Sharapatov A. Geomagnitnye dannye i ispol'zovanie ikh pri reshenii zadach geonauk. / A. Sharapatov, B.T. Zhumabaev, A.B. Saduov, N. Assirbek. // Nauchno-tekhnicheskii i proizvodstvennyi Gornyi zhurnal Kazakhstana. 2023. №12 (224). S. 30-36 [Sharapatov A. Geomagnetic data and their use in solving geosciences problems. / A. Sharapatov, B.T. Zhumabaev, A.B. Saduov, N. Assirbek. // Scientific, Technical and Industrial Mining Journal of Kazakhstan. 2023. №12 (224). P. 30-36] (in Russian)*

Сведения об авторах:

Шарпатов А., кандидат геолого-минералогических наук, ассоциированный профессор кафедры «Геофизика и сейсмология» КазННТУ им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), a.sharapatov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-2578-3817>

Кабдсихова Г.А., магистрант кафедры «Геофизика и сейсмология» КазННТУ им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), g.qabdsihova@stud.satbayev.university; <https://orcid.org/0009-0004-8208-4566>

Асирбек Н.А., магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Геофизика и сейсмология» КазННТУ им. К. И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), n.assirbek@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-9803-4011>

Садуов А.Б., докторант кафедры «Геофизика и сейсмология» КазННТУ им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), a.saduov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-1501-7772>

Авторлар туралы мәліметтер:

Шарпатов Ә., геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, Сәтбаев Университеті «Геофизика және сейсмология» кафедрасының қауымдастық профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Кабдсихова Г.А., магистрант, Сәтбаев Университеті «Геофизика және сейсмология» кафедрасы (Алматы қ., Қазақстан)

Әсирбек Н.Ә., техника ғылымдарының магистрі, Сәтбаев Университеті «Геофизика және сейсмология» кафедрасының аға оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан)

Садуов Ә.Б., докторант, Сәтбаев Университеті «Геофизика және сейсмология» кафедрасы (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Sharapatov A., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Geophysics and Seismology, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Qabdsihova G.A., Master's student of the Department of Geophysics and Seismology, Satbayev University, (Almaty, Kazakhstan)

Assirbek N.A., Master of technical sciences, Senior-lecturer of the Department of Geophysics and Seismology, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Saduov A.B., PhD student of the Department of Geophysics and Seismology, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)



AMM CONGRESS

6 • 7 июня 2024

Астана, Казахстан

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ
КОНГРЕСС**

 amm.kz

ФОРУМ • ВЫСТАВКА • ОТРАСЛЕВОЙ КОНКУРС «ЗОЛОТОЙ ГЕФЕСТ»

Код МРНТИ 36.16.19

Х.М. Касымканова, Э.О. Орынбасарова, *К.А. Жанакулова, Б. Адебиев
Satabayev University (Алматы, Казахстан)

ПУТЬ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ: ОТ МАЯТНИКА К МИКРОЧИПУ

Аннотация. Создание актуального геоида и эталонного гравиметрического полигона – приоритетные задачи государства. Значения силы тяжести, определяемые современными технологиями, являются частью необходимых данных для решения этих задач. Получение точных значений силы тяжести на различных участках страны невозможно без применения высокоточных современных гравиметров. Применение актуальных относительных гравиметров в исследованиях силы тяжести Земли связано с надежностью данных, простотой и эффективностью использования инструментов, точностью выполняемых измерений и экономической целесообразностью. В данной статье изучены этапы совершенствования гравиметров, конструктивные особенности и принципы работы различных моделей.

Ключевые слова: сила тяжести, относительный гравиметр, ускорение силы тяжести, маятниковый метод, статический метод, статический гравиметр, CG-6 Autograv.

Микрочиптен маятникке дейінгі салыстырмалы гравиметриялық өлшеулер

Аңдатпа. Мемлекет үшін өзекті геоид және эталондық гравиметриялық полигон құру – басым міндеттер. Бүгінгі таңдағы технологиялар арқылы анықталатын ауырлық күшінің мәндері бұл міндеттерді шешу үшін қажетті деректердің бір бөлігі болып табылады. Елдің әртүрлі бөліктерінде ауырлық күшінің дәл мәндерін алу жоғары дәлдікті ұстаушы заманауи гравиметрлерді қолданбастан мүмкін емес. Заманауи салыстырмалы гравиметрлерді ауырлық күшін зерттеуде қолданудың себебі – деректердің сенімділігі, құралдардың пайдалануының ыңғайлылығы мен тиімділігі, өлшеулердің дәлдігі және экономикалық тиімділік. Бұл мақалада гравиметрлерді жетілдіру кезеңдері, конструкциялық ерекшеліктері және әр түрлі модельдердің жұмыс принциптері зерттелген.

Түпінді сөздер: ауырлық күші, салыстырмалы гравиметр, ауырлық күшінің үдеуі, маятниктік әдіс, статикалық әдіс, статикалық гравиметр, CG-6 Autograv.

The path of relative gravimetric measurements: from pendulum to microchip

Abstract. The creation of an up-to-date geoid and a reference gravimetric polygon are priority tasks of the state. Gravity values determined by modern technologies are part of the necessary data to solve these problems. Obtaining accurate gravity values in various parts of the country is impossible without the use of high-precision modern gravimeters. The use of current relative gravimeters in studies of the Earth's gravity is associated with the reliability of data, the simplicity and efficiency of using tools, the accuracy of measurements performed and economic feasibility. This article examines the stages of improving gravimeters, design features and principles of operation of various models.

Key words: gravity, relative gravimeter, gravity acceleration, pendulum method, static method, static gravimeter, CG-6 Autograv.

Введение

Реализация проекта по созданию актуального геоида Казахстана, а также построение эталонного гравиметрического полигона требует наличие актуальных точных гравиметрических данных, получение которых возможно высокоточными измерениями силы тяжести.

Гравиметрические данные получают в результате измерения абсолютных и относительных значений силы тяжести [1].

Определение абсолютной силы тяжести достигается по результатам измерений на одном пункте путем вычисления полного значения g (ускорение силы тяжести). Относительные значения определяются путем вычисления приращения силы тяжести между измеренными пунктами [2]. Устройство, выполняющее измерение значений ускорения силы тяжести, называется гравиметр. В зависимости от вида измерения различают абсолютные и относительные гравиметры.

Популярность относительных гравиметров обуславливается совокупностью таких факторов, как простота методики измерений, эффективность проведения съемок, портативность оборудования, высокая точность получаемых данных, экономическая целесообразность. Сегодня на рынке передовых технологий в области гравиметрии особой популярностью пользуются относительные гравиметры производителей Scintrex (Канада), LaCoste and Romberg (США), ZLC (США), Micro-g LaCoste (США), GF Instruments (Чехия).

Методы исследования

В процессе изучения появления и развития относительных гравиметров было выявлено, что первые значения

ускорения силы тяжести получены в 17 веке при помощи маятникового метода, принцип которого был заложен при проектировании первого гравиметрического прибора [3].

В 1656 году голландский ученый – изобретатель Х. Гюйгенс впервые использовал маятниковый метод измерения g (ускорения силы тяжести). Выбор данного метода был обусловлен его механической простотой и незначительным влиянием амплитуды на период колебаний, так как при малых амплитудах колебаний период идеального маятника зависит только от его длины и гравитации.

Несмотря на кажущуюся простоту, маятниковые измерения силы тяжести сопряжены с трудностями, связанными с точным определением длины маятника. Тем не менее, данный метод был единственным решением в определении гравитации до конца 19 века. Британский физик Генри Кэтер в ходе проведения экспериментов по точному определению ускорения силы тяжести сделал предположение, что если длина маятника остается постоянной во время измерений, то различие в силе тяжести между двумя точками наблюдения относительно друг друга определяется разницей в периодах колебаний. Так была заложена концепция относительной гравиметрии [4].

В первой половине 20 века английский и швейцарский физики Р. Хартли, А. Граф предложили систему с подвижным грузом для неастирированных металлических гравиметров, работающих по принципу вертикальных пружинных весов (рис. 1а). Точность измерения данным методом достигалась $\pm 10 \text{ мкм} \cdot \text{с}^{-2}$. Их конструкция была реализована в гравиметре Gs3 компании «Аскания» в Берлине.

В этот же период компания Gulf Research and Development разработала относительный гравиметр, основанный на принципе Хойта (рис. 1б), при котором изме-

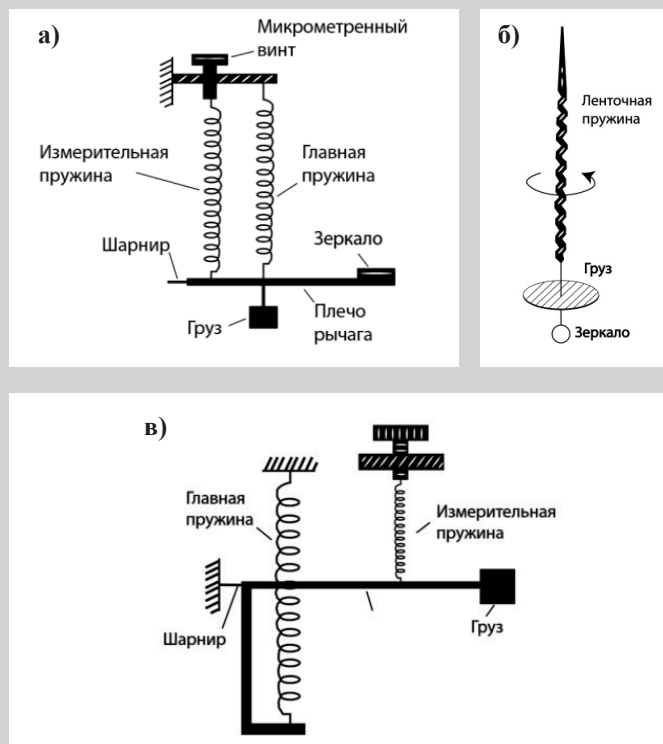


Рис. 1. Конструкция гравиметра по принципу:
 а) Хартли (система с вертикальным смещением);
 б) Хойта (вертикальная крутильная система);
 в) Трумана (астатизированные рычажные пружинные весы).

Сурет 1. Гравиметрдің конструкциясы принциптері бойынша: а) Хартли (вертикальды ығысуы бар жүйе); б) Хойт (вертикальды бұрау жүйесі); в) Труман (астазиатталған терізекті пружиналы таразы).

Figure 1. Gravimeter designs based on the principles of: a) Hartley (vertically displaced system); b) Hoyle (vertical torsion system); c) Truman (astatized lever spring balance).

рение ускорения силы тяжести определяется по степени закручивания вертикальной ленточной пружины. Диапазон измерений $300 \text{ мкм} \cdot \text{с}^{-2}$, вес 40 кг, смещение нуля-пункта несколько $\text{мкм} \cdot \text{с}^{-2}$, точность $\pm 2-3 \text{ мкм} \cdot \text{с}^{-2}$. А американский физик О. Труман разработал прибор, где вертикальная удерживающая пружина крепилась к нижнему концу рычага. Это модификация позволила повысить чувствительность прибора в 200 раз (рис. 1в). Точность измерений данного гравиметра $\pm 2-3 \text{ мкм} \cdot \text{с}^{-2}$, габариты: диаметр 0.6, высота 1 м, вес 60 кг.

Параллельно им немецкие геодезисты О. Тиссен и Г. Шлезенер разработали гравиметр, основанный на принципе измерения наклона кварцевого рычага под действием силы тяжести. Рычаг массой 20 г приводится в равновесие с помощью вертикальной металлической пружины.

Для обеспечения точных измерений прибор имеет теплоизоляцию, барометрическую компенсацию и две чувствительные системы, расположенные под углом 180° . В последующем немецкая фирма Seimos GmbH выпустила более 100 гравиметров, в основе которых лежит конструкция Тиссена-Шлезенера. Габариты данных гравиметров были улучшены и приведены в более портативный

вид: $0.3 \times 0.3 \times 0.8 \text{ м}$, вес 20 кг, точность $\pm 2-3 \text{ мкм} \cdot \text{с}^{-2}$. Однако центр масс системы гравиметра Тиссена-Шлезенера расположен выше плоскости рычага, что обуславливает ее слабую астазированность (чувствительность), приводящую к менее точным показаниям прибора.

Данный недостаток был устранен французским изобретателем Л. Ла Коста совместно с немецким геодезистом А. Ромбергом путем уравнивания импульса гравитационных и упругих сил за счет внедрения в прибор наклонной металлической пружины нулевой длины (рис. 2).

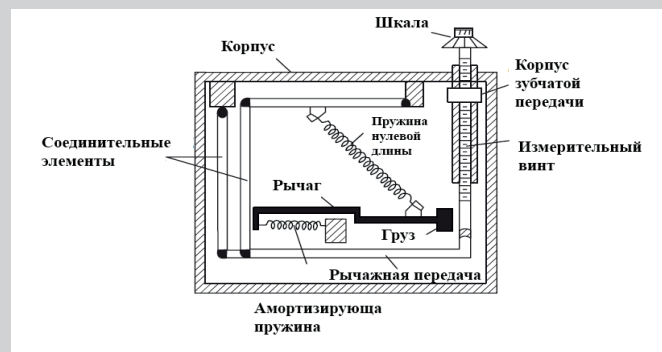


Рис. 2. Принцип гравиметра Ла Коста-Ромберга (астатизированные рычажные пружинные весы).
Сурет 2. Ла Коста-Ромбергтің гравиметрінің принципі (астазиатталған терізекті пружиналы таразы).
Figure 2. La Coste-Romberg gravimeter principle (astatized lever spring balance).

В 1948 году была представлена модель D гравиметра Ла Коста-Ромберга, в 1956 г. – модель G. Измерительный диапазон около $70\,000 \text{ мкм} \cdot \text{с}^{-2}$, точность измерений $\pm 0,4 \text{ мкм} \cdot \text{с}^{-2}$. Этот тип гравиметра доминировал в области относительной гравиметрии около 50 лет. В процессе эксплуатации был выявлен недостаток в использовании металлических пружин в гравиметрах, а именно, температурные изменения отрицательно влияли на их упругость, за счет чего пружина претерпевает деформацию начального состояния, что приводило к неточности измерения. Данная проблема была решена с внедрением кварцевого стекла вместо металла физиком-изобретателем Сэмом Уорденом (рис. 3).

Гравиметр Уордена, разработанный фирмой Tahas Instruments, Inc представляет собой компактный и портативный инструмент для измерения силы тяжести. Основные характеристики данного гравиметра: компактный корпус (диаметр 0.18, высота 0.36 м), легкий вес (вес 3.4 кг), наличие термостата, обеспечивающего стабильность работы прибора в различных температурных условиях.

В 1987 г. фирма Scientrix представила миру относительный гравиметр Scientrix CG-3 Autograv. CG-3 Autograv представляет собой автоматизированный гравиметр с микропроцессором в сочетании с чувствительной системой из плавленого кварца с элементами, созданными по новейшим технологиям, охватывающим широкий диапазон силы тяжести [5]. Размеры корпуса гравиметра $0.24 \times 0.31 \times 0.32 \text{ м}$, вес 12 кг со встроенным аккумулятором. При расстояниях между пунктами 10 км и более приращение силы тяжести можно определить с точностью $\pm 0.1-0.3 \text{ мкм} \cdot \text{с}^{-2}$.

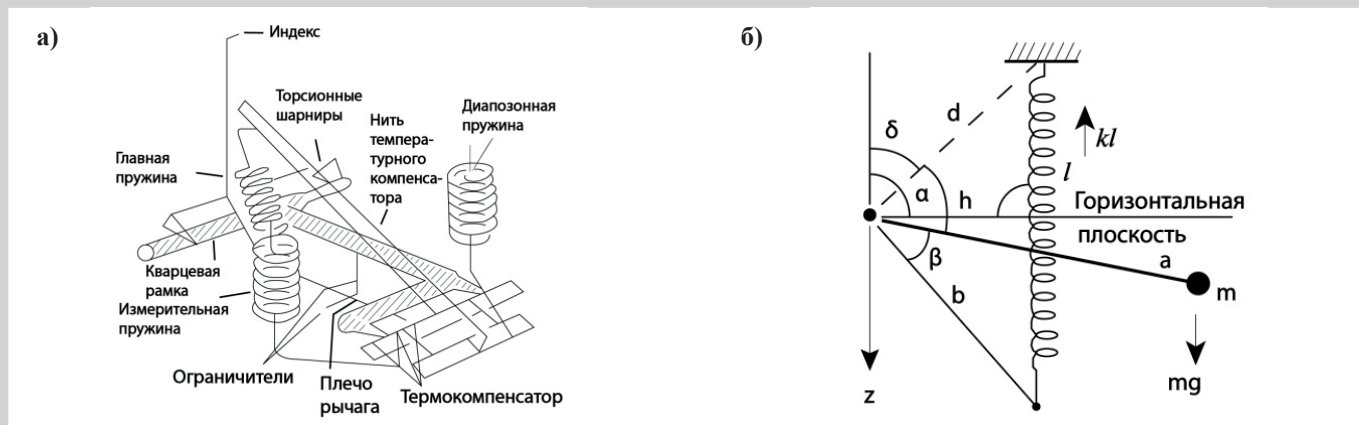


Рис. 3. Система Уордена: а) конструкция гравиметра Уордена; б) принцип гравиметра Уордена: kl – жесткость пружины; l – длина пружины; h – расстояние между точкой подвеса и центром массы груза; β – угол отклонения пружины от вертикали; a – расстояние от точки подвеса до оси вращения; b – расстояние от оси вращения до центра массы груза; m – масса груза; g – ускорение свободного падения; z – вертикальная ось; mg – сила тяжести, действующая на груз; d – точка подвеса, действующая на груз; d/δ – упругая деформация пружины.

Сурет 3. Уорден жүйесі: а) Уорден гравиметрінің конструкциясы; б) Уорден гравиметрінің принципі: kl – серіппенің қаттылығы; l – серіппенің ұзындығы; h – суспензия нүктесі мен жүк массасының центрі арасындағы қашықтық; β – серіппенің вертикальдан ауытқу бұрышы; a – суспензия нүктесінен айналу осіне дейінгі қашықтық; b – айналу осінен жүк массасының центріне дейінгі қашықтық; m – жүктің салмағы; g – ауырлық күшінің үдеуі; z – тік ось; mg – жүктемеге әсер ететін ауырлық күші; d – жүктемеге әсер ететін суспензия нүктесі; d/δ – серіппенің серпімді деформациясы.

Figure 3. Worden System: a) Worden gravimeter design; b) Worden gravimeter principle: kl – is the stiffness of the spring; l – is the length of the spring; h – is the distance between the suspension point and the center of mass of the load; β – is the angle of deviation of the spring from the vertical; a – is the distance from the suspension point to the axis of rotation; b – is the distance from the axis of rotation to the center of mass of the cargo; m – is the mass of the load; g – is the acceleration of gravity; z – is the vertical axis; mg – is the force of gravity acting on the load; d – is the suspension point acting on the load; d/δ – is the elastic deformation of the spring.

Современные методы измерения ускорения силы тяжести [6] делятся на динамические (наблюдение за движением) и статические (наблюдение за равновесием) под действием силы тяжести и компенсирующей силы. К динамическим методам относятся маятниковые (рис. 4) и баллистические методы измерения. Маятниковый метод основан на формуле Гюйгенса:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (1)$$

где T – период колебаний;

g – ускорение силы тяжести;

l – приведенная длина.

В основе баллистического метода лежит уравнение свободно падающего тела:

$$S = S_0 + V_0 t + \frac{gt^2}{2}, \quad (2)$$

где S – путь, пройденный свободно падающим телом;

S_0 – начальный путь;

V_0 – начальная скорость;

t – время падения тела.

Существует два основных метода определения относительных значений силы тяжести: маятниковый и статический. Маятниковый основан на многократном измерении периода колебаний одного и того же маятника неизменной длины в разных точках.

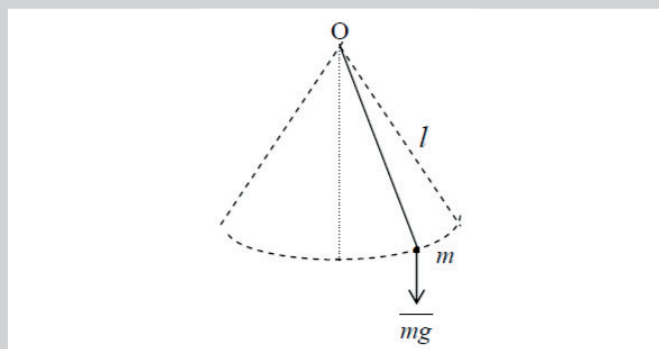


Рис. 4. Маятниковый метод измерения ускорения силы тяжести.

Сурет 4. Гравитациялық күштің жеделдеуін өлшеудің маятниктік әдісі.

Figure 4. Pendulum method for measuring gravity acceleration.

В статическом же методе измерения силы тяжести наблюдают за состоянием равновесия тела в реальном гравитационном поле под действием двух сил: силы тяжести и некоторой компенсирующей силы. Уравнение статического равновесия выглядит следующим образом:

$$m\bar{g} + \bar{F} = 0, \quad (3)$$

где $m\bar{g}$ – сила тяжести;

\bar{F} – компенсирующая сила.

В основе статических гравиметров лежит принцип измерения разности между силой тяжести и компенсирующей силой (рис. 5).

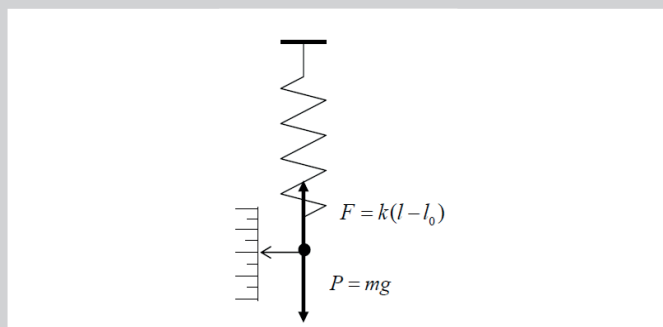


Рис. 5. Статический метод измерения ускорения силы тяжести.

Сурет 5. Гравитациялық күштің жеделдеуін өлшеудің статикалық әдісі.

Figure 5. Static method for measuring gravity acceleration.

Пружина имеет начальную длину l_0 . Подвесив на пружину груз P массой m , то под действием тяжести этого груза пружина растянется до длины l . В результате сила тяжести mg уравнивается силой упругой деформации пружины $k(l - l_0)$, где k – коэффициент упругости пружины. Можно представить следующее уравнение:

$$mg = k(l - l_0). \quad (4)$$

Деформация пропорциональна нагрузке, согласно закону Гука.

На рисунке также отображены шкала и индекс от груза. Если при некотором номинальном значении $g = g_0$ индекс маятника равен нулю, уравнение статического состояния имеет вид:

$$mg_0 = k(\bar{l}_0 - l_0), \quad (5)$$

где l_0 – длина пружины при $g = g_0$.

При переходе на точку I с $g = g_1$, получим следующее уравнение статического равновесия:

$$m g_1 = k(l - l_0). \quad (6)$$

При $g_1 > g_0$ пружина увеличивается до величины l и индекс маятника изменит свое положение на величину $(l - l_0)$ относительно первоначальной длины пружины. Разность уравнений (5) из (6) и принимая, что $m = 1$, получим основное уравнение измерения приращения ускорения силы тяжести между двумя пунктами статическим методом:

$$(g_1 - g_0) = k(l - \bar{l}_0). \quad (7)$$

Хотя система, показанная на рис. 5, упругая, она недостаточно чувствительна к реальным изменениям ускорения силы тяжести. Для повышения чувствительности в гравиметрах применяется принцип сейсмографа Голицына (рис. 6).

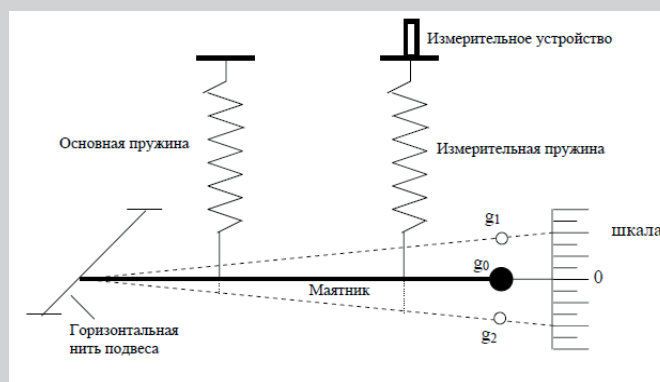


Рис. 6. Схема статического гравиметра, основанная на принципе сейсмографа Голицына.

Сурет 6. Голицын сейсмографының принципіне негізделген статикалық гравиметрдің схемасы.

Figure 6. Diagram of a static gravimeter based on the principle of the Galitzin seismograph.

В гравиметрах этого типа маятник с единичной массой подвешен на горизонтальной нити. Основная пружина неустойчиво удерживает его в горизонтальном положении. При этом коэффициент упругости пружины подобран таким образом, что при номинальном значении ускорения свободного падения $g = g_0$ длина пружины равна l_0 , а индекс маятника находится на нуле шкалы.

При изменении g маятник отклоняется, что приводит к растяжению или сжатию пружины до новой длины l . При $g_1 > g_0$ пружина удлиняется, а при $g_1 < g_0$ – укорачивается. Это отклонение фиксируется изменением положения индекса маятника относительно нуля шкалы.

Современные гравиметры обычно используют нулевой или компенсационный метод. В этих методах измерение происходит, когда индекс маятника находится на нуле шкалы. Гравиметр оснащен измерительной пружиной, микрометрическим винтом и отсчетным устройством. Вращением винта пружина удлиняется или укорачивается, возвращая маятник в нулевое положение, соответствующее $g = g_0$. После этого производится отсчет по отсчетному устройству в оборотах пружины.

При работе со статическим гравиметром для определения разности ускорения силы тяжести между двумя пунктами проводят измерения на каждом из них, используя один и тот же прибор. Результаты измерений, полученные в мГалах, сравнивают между собой. Разность этих значений и будет соответствовать приращению ускорения силы тяжести между данными пунктами (рис. 7).

$$c \cdot S^A = S_{\text{мГал}}^A,$$

$$c \cdot S^B = S_{\text{мГал}}^B,$$

$$\Delta g_{BA} = S_{\text{мГал}}^B - S_{\text{мГал}}^A, \quad (8)$$

где c – постоянная гравиметра в мГал/об;

S^A, S^B – отсчеты по гравиметру в точках А и В в оборотах.

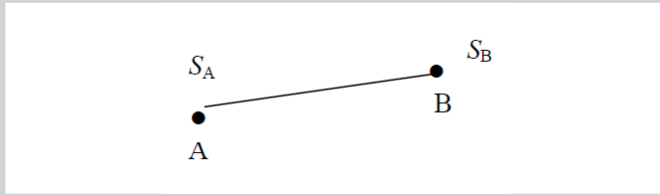


Рис. 7. Принцип измерения ускорения силы тяжести статическим гравиметром.

Сурет 7. Статикалық гравиметрмен гравитациялық күштің жеделдеуін өлшеу принципі.

Figure 7. Principle of measuring gravity acceleration with a static gravimeter.

Таким образом, современные статические гравиметры основаны на статическом методе относительных измерений тяжести.

Результаты

Произведен анализ актуальных моделей современных относительных гравиметров. На протяжении нескольких десятилетий, начиная с 1939 года, в мире относительной наземной гравиметрии преобладают относительные гравиметры LaCoste&Romberg (модели D и G). За последние годы наблюдается рост популярности Scintrex Autograv (CG-5, CG-6), Micro-g LaCoste (gPhone X), LG-1 GALILEO (GF Instruments) и Burris Gravity Meter (ZLC) (рис. 8).



Рис. 8. Современные актуальные гравиметры для измерения относительных значений силы тяжести: а) Burris Gravity Meter; б) гравиметр gPhone X; в) LG-1 GALILEO; г) CG-6 Autograv.

Сурет 8. Гравитацияның салыстырмалы мәндерін өлшеу үшін қолданылатын заманауи гравиметрлер: а) Burris Gravity Meter; б) gPhone X гравиметрі; в) LG-1 GALILEO; г) CG-6 Autograv.

Figure 8. Modern gravimeters for measuring relative gravity values: a) Burris Gravity Meter; b) gPhone X gravimeter; c) LG-1 GALILEO; d) CG-6 Autograv.

Гравиметр Burris Gravity Meter является разработкой американской компании ZLC Corporation (рис. 8а). Принцип

работы этой модели основан на концепции ЛаКоста и Ромберга – пружины нулевой длины. Исследование [7] показало, что гравиметр Burris Gravity Meter обладает высокой повторяемостью измерений и низким дрейфом при длительной регистрации. Результаты калибровки, проведенной в Ганновере, Германия, продемонстрировали точность измерений в пределах 10^{-4} . Среди преимуществ Burris Gravity Meter можно отметить: быстрая корректировка данных, высокая стабильность, точность и низкий дрейф – менее 1 мГал в месяц [8].

Гравиметр gPhone X (рис. 8б) является разработкой компании Micro-g LaCoste (США). В основе конструкции гравиметра лежит технология компании LaCoste and Romberg (система пружинных подвесов «нулевой длины»). Гравиметр характеризуется малым дрейфом в течение продолжительного времени. gPhone X подходит для мониторинга высокочастотных непериодических землетрясений. Обладает широким диапазоном измерений (7000 мГал), оснащен синхронизированной системой сбора данных и GPS. Обладает высокой чувствительностью, обеспечивающей стабильность измерений. Использует систему «двойная печь» для обеспечения температурной стабильности, нечувствителен к колебаниям барометрического давления. Имеет компактный вид, удобен при транспортировке. В исследовании [9] gPhone X доказал с контролем наклона – это точный инструмент для измерения изменений силы тяжести, сопоставимый по качеству с данными сверхпроводящих гравиметров (SG).

Гравиметр LG-1 GALILEO – относительный кварцевый гравиметр, разработанный компанией GF Instruments (Чехия), характеризуется максимальным рабочим диапазоном 10 000 мГал и повторяемостью ≥ 5 мкГал (рис. 8в) [10]. Рабочий диапазон позволяет производить измерения в любой точке мира. Качество измерений обеспечивается высокоточной термостабилизацией датчика и современной технологией обработки сигнала. В гравиметр встроена система, отвечающая за коррекцию приливов, дрейфа, наклона и температуры. Литий-ионные батареи обеспечивают до 30 часов бесперебойной работы. Компактный корпус и легкий вес позволяет легко транспортировать прибор и работать в труднодоступных местах.

В 2016 г. компания Scintrex (Канада) представила миру цифровой кварцевый гравиметр нового поколения CG-6 Autograv (рис. 8г) [11]. На сегодняшний день он является одним из востребованных устройств в геодезии, гравиметрии, геологии, геофизике и в других областях [12].

Прибор обеспечивает быстрое, надежное и точное измерение силы тяжести. Обладает интуитивно понятным пользовательским интерфейсом, прочным корпусом, встроенным GPS. Тип датчика – плавленый кварц с использованием электростатического обнуления, что позволяет фиксировать незначительные изменения силы тяжести. Диапазон измерений 8 000 мГал позволяет производить измерения в любой точке мира. CG-6 Autograv обладает исключительной точностью измерений. Рекомендован к использованию в масштабных геодезических, гравиметрических проектах. В ценовой категории является не самым бюджетным вариантом, но в геодезических и гравиметрических исследованиях национального

Таблица 1

Сравнительная таблица актуальных относительных гравиметров 2023-2024 гг.

Кесте 1

2023-2024 жылдардағы өзекті салыстырмалы гравиметрлердің салыстырмалы кестесі

Table 1

Comparative table of current relative gravimeters 2023-2024

Тип	Модель	Производитель (страна)	Разрешение	Повторяемость	Диапазон измерений	Цена	Портативность	Габариты (см), вес (кг)
Электронный	Burris Gravity Meter	ZLC (США)	1 мкГал	1-3 мкГал	7000 мГал	Средняя	Да	19.05x30.5x30.5, 5.18
Электронный	gPhoneX	Micro-g LaCoste (США)	0.1 мкГал	1 мкГал	7000 мГал	Средняя	Да	31x32.4x25.2, 13
Электронный	LG-1 GALILEO	GF Instruments (Чехия)	0.1 мкГал	≥ 5 мкГал	10000 мГал	Средняя	Да	23.5x21x35, 7.9
Электронный	CG-6 Autograv	Scientrix (Канада)	0.1 мкГал	> 5 мкГал	8000 мГал	Средняя	Да	21.5x21x24, 5.2

масштаба, где нужны высокоточные данные о силе тяжести, оперативность системы, высокоточные измерения при минимальном количестве времени, портативность, простота и эффективность использования, модель CG-6 Autograv является наилучшим решением.

При выборе гравиметра (таблица 1) рекомендуем исходить из цели использования, требуемой точности, диапазона измерений, портативности, производительности и цены.

Заключение

Для проведения масштабных гравиметрических измерений, реализации проекта по построению геоида Казахстана, а также гравиметрического эталонного полигона, важно найти эффективное решение – оборудование, позволяющее выполнить высокоточные измерения силы тяжести. При выборе гравиметра основными факторами выступают: точность измерений, диапазон, портативность, автоматизация процессов, эффективность проведения съемки, цена, производительность. Исходя из требуемых проектом критериев и задач, среди

небольшого количества относительных гравиметров, что на сегодня актуально на рынке, выбор относительного гравиметра был сделан в пользу канадской компании Scientrix модели CG-6 Autograv. Характеристики данной модели позволяют эффективно получить надежные, высокоточные измерения силы тяжести на всей территории Казахстана с минимальными погрешностями. Данная модель зарекомендовала себя как надежное решение в получении гравиметрических данных для нефтегазовой разведки, разведки полезных ископаемых, геологическом картировании, инженерного обеспечения строительства, гравиметрических исследований, построения и уточнения геоида. Спрос на гравиметр Scientrix CG-6 Autograv наблюдается во многих странах, что является лучшим показателем его популярности и признания среди специалистов.

Благодарность

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузьмин В.И. Утверждено редакционно-издательским советом академии в качестве учебного пособия для студентов геодезических специальностей всех форм обучения: СГГА, Новосибирск, 2011, С. 193 (на русском языке)
 2. Знаменский В.В. Общий курс полевой геофизики: М.: Недра, 1989, С. 520 (на русском языке)
 3. Торге В. Гравиметрия: М.: Мир, 1999, С. 429 (на русском языке)
 4. Marson I. Путь гравиметров: краткий обзор. // Международный журнал геофизики. 2012. Вып. 2012. С. 9 (на английском языке)
 5. Timmen L. Абсолютная и относительная гравиметрия. // Науки о геодезии – I: достижения и будущие направления. 2010. С. 1-48 (на английском языке)
 6. Гравиметрия. Учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-56 01 02 «Геодезия». / Составление и общая редакция Г.А. Шароглазовой. 2-е изд. – Новополюцк: ПГУ, 2010. – 196 с. (на русском языке)
 7. Jentszsch G. Автоматизированный гравиметр Burriss – новый инструмент, использующий старый принцип. Наземная гравиметрия: статические и мобильные измерения. // Материалы Международного симпозиума. Санкт-Петербург: Электроприбор, 2008. – С. 21-28 (на английском языке)
 8. Jentszsch G. и др. Автоматический гравиметр Burriss для однократного и непрерывного наблюдения. // Геодезия и геодинамика. 2018. Вып. 3. С. 204-209 (на английском языке)
 9. Fores V. и др. Долгосрочная стабильность управляемых наклоном гравиметров gPhoneX. // Журнал геофизических исследований: Твердая Земля. 2019. Вып. 124. №11. С. 12264-12276 (на английском языке)
 10. Брошюра. LG-1 Galileo наземный гравиметр. С. 2. (на английском языке)
 11. Liu S. и др. Исследование динамических характеристик относительно гравиметра CG-6 для микрогравитационной сети. // Десятый Международный Симпозиум по точным инженерным измерениям и приборостроению, SPIE, 2019. Вып. 11053. – С. 482-488 (на английском языке)
 12. Boddice D. и др. Съёмка в условиях микрогравитации до, во время и после отдаленных крупных землетрясений. // Журнал прикладной геофизики. 2022. Вып. 197. С. 104542 (на английском языке)
- ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ
1. Кузьмин В.И. Редакциялық-баспа кеңесі тарапынан геодезия мамандықтарының барлық бөлімдерінің студенттері үшін оқу құралы ретінде бекітілді: СГГА, Новосибирск, 2011, Б. 193 (орыс тілінде)
 2. Знаменский В.В. Жалпы дала геофизикасының курсы: М.: Недра, 1989, Б. 520 (орыс тілінде)
 3. Торге В. Гравиметрия: М.: Мир, 1999, Б. 429 (орыс тілінде)
 4. Marson I. Гравиметрия сапарына шолу. // Халықаралық геофизика журналы. 2012. Шығ. 2012. Б. 9 (ағылшын тілінде)
 5. Timmen L. Абсолюттік және салыстырмалы гравиметрия. // Геодезия ғылымдары – I: Алғашқы жетістіктер және болашақ бағыттар. 2010. Б. 1-48 (ағылшын тілінде)
 6. Гравиметрия. Оқу-әдістемелік кешені мамандығы бойынша студенттерге арналған 1-56 01 02 «Геодезия». / Г.А. Шароглазованың құрастыруы және жалпы редакциясымен. 2-ші басылымы. – Новополюцк: ПГУ, 2010. – 196 б. (орыс тілінде)
 7. Jentszsch G. Автоматты Burriss гравиметрі: ескі принципке негізделген жаңа құрал // Жер гравиметриясы: Статикалық және мобильді өлшеулер (TG-SMM2007). // Халықаралық симпозиумның материалдары. Санкт-Петербург: Электроприбор, 2008. – Б. 21-28 (ағылшын тілінде)
 8. Jentszsch G. және басқалар. Автоматический гравиметр Burriss для однократного и непрерывного наблюдения. // Геодезия және геодинамика. 2018. Шығ. 3. Б. 204-209 (ағылшын тілінде)
 9. Fores V. және басқалар. Тілт-басқарылатын gPhoneX гравиметрлерінің ұзақ мерзімді тұрақтылығы. // Жер туралы геофизикалық зерттеулер журналы: Қатты Жер. 2019. Шығ. 124. №11. Б. 12264-12276 (ағылшын тілінде)
 10. Брошюра. LG-1 Galileo Жер үсті гравиметрі. Б. 2. (ағылшын тілінде)
 11. Liu S. және басқалар. Микрогравитациялық желі үшін CG-6 салыстырмалы гравиметрдің динамикалық сипаттамаларын зерттеу. // Онлайн халықаралық симпозиум: Прецизионды инженерлік өлшеулер мен аспаптар, SPIE, 2019. Шығ. 11053. – Б. 482-488 (ағылшын тілінде)
 12. 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)

REFERENCES

1. Kuzmin V.I. *Utverzhdeno redakcionno-izdatelskim sovetom akademii v kachestve uchebnogo posobiya dlya studentov geodezicheskikh specialnostej vseh form obucheniya: SSGA, Novosibirsk, 2011. P. 193* [Kuzmin V.I. *Approved by the editorial and publishing council of the academy as a teaching aid for students of geodetic specialties of all forms of study: SSGA, Novosibirsk, 2011, P. 193*] (in Russian)
2. Znamenskij V.V. *Obshij kurs polevoj geofiziki: M.: Nedra, 1989, P. 520* [Znamensky V.V. *General course of field geophysics: M.: Nedra, 1989, P. 520*] (in Russian)
3. Torge V. *Gravimetriya: M.: Mir, 1999, P. 429* [Torge V. *Gravimetry: M.: Mir, 1999, P. 429*] (in Russian)
4. Marson I. *A short Walk along the Gravimeters Path. // International Journal of Geophysics. 2012. V. 2012. P. 9* (in English)
5. Timmen L. *Absolute and Relative Gravimetry. // Sciences of Geodesy-I: Advances and Future Directions. 2010. P. 1-48* (in English)
6. *Gravimetriya. Uchebno-metodicheskij kompleks dlya studentov specialnosti 1-56 01 02 «Geodeziya». / Sostavlenie i obshaya redakciya G.A. Sharoglavovoj. 2-e izd. – Novopolock: PGU, 2010. – 196 p. [Gravimetry. Educational and methodological complex for students of specialty 1-56 01 02 «Geodesy». / Compilation and general editing by G.A. Sharoglavova. 2nd ed. – Novopolotsk: PSU, 2010. – 196 p.]* (in Russian)
7. Jentzsch G. *The automated Burris gravity meter—a new instrument using an old principle. Terrestrial Gravimetry: Static and Mobile Measurements (TG-SMM2007). // Proceedings of the International Symposium. St. Petersburg: Elektropribor, 2008. – P. 21-28* (in English)
8. Jentzsch G. *et al. Automated Burris gravity meter for single and continuous observation. // Geodesy and Geodynamics. 2018. Vol. 3. P. 204-209* (in English)
9. Fores B. *et al. Long-Term Stability of Tilt-Controlled gPhoneX Gravimeters. // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2019. Vol. 124. №11. P. 12264-12276* (in English)
10. *Brochure. LG-1 Galileo Land gravity meter. P. 2* (in English)
11. Liu S. *et al. Investigation on the dynamic characteristics of CG-6 relative gravimeter for the micro-gravity network. // Tenth International Symposium on Precision Engineering Measurements and Instrumentation, SPIE, 2019. Vol. 11053. – P. 482-488* (in English)
12. Boddice D. *et al. Microgravity surveying before, during and after distant large earthquakes. // Journal of Applied Geophysics. 2022. Vol. 197. P. 104542* (in English)

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 кафедрой «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>

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>

Адебиет Б., докторант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), astbaha6@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-0508-018X>

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)

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

Адебиет Б., 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)

Orynbassarova 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)

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)

Adebiyet B., 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)

MinTech-2024

МЕЖДУНАРОДНАЯ

ВЫСТАВКА

ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ
И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

КАЗАХСТАН

www.kazexpo.kz



22-24 мая

г. Усть-Каменогорск

28-30 мая

г. Павлодар

**БИЗНЕС-ТУРЫ НА ПРОМЫШЛЕННЫЕ
ПРЕДПРИЯТИЯ ВКО И ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ**



ОРГАНИЗАТОРЫ:



тел: +7 (727) 250-75-19, 313-76-28,

моб: +7 707 456-53-07

e-mail: kazexpo@kazexpo.kz

Код МРНТИ 52.13.25

Н.Ф. Низаметдинов, Л.Д. Баймагамбетова, *М.Б. Игемберлина, А.К. Сатбергенова
Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет
им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

ОПЕРАТИВНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ЖЕЗКАЗГАНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РУЧНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье описываются особенности проведения лазерного сканирования горнопроходческих и добычных выработок на Жезказганском месторождении. Приведены порядок проведения съемочных работ с помощью ручного лазерного сканера Leica BLK2GO, построение трехмерных моделей. Технологии подземного сканирования с помощью портативного сканера позволяют ускорить процесс обследования горных выработок, абсолютно недоступных для маркшейдеров участков и получить высокоточные 3D-модели рудника, что в последующем поможет смоделировать геомеханическую модель месторождения. Приложение BLK2GO Live позволяет получить доступ к информации о состоянии BLK2GO, такой как аккумулятор, дисковое пространство или температура, а также для визуализации и управления существующими сканированными изображениями.

Ключевые слова: портативный лазерный сканер, каркасная модель, горнопроходческая выработка, добычной забой, облако точек, съемка, электронный тахеометр, 3D-модель рудника.

Портативті сканерлеуді пайдалану негізінде Жезказған кен орнында тау кен қазбаларының цифрлық модельдерін жедел құру

Андатпа. Мақалада Жезказған кен орнында тау-кен қазбаларын лазерлік сканерлеу ерекшеліктері сипатталған. Leica BLK2GO қолмен лазерлік сканердің көмегімен түсірілім жұмыстарын жүргізу тәртібі, үш өлшемді модельдерді құру келтірілген. Қолмен сканердің көмегімен жерасты сканерлеу технологиялары маркшейдерлер үшін мүлдем қол жетімді емес тау-кен қазбаларын зерттеу процесін жеделдетуге және кеніштің жоғары дәлдіктегі 3D модельдерін алуға мүмкіндік береді, бұл кен орнының геомеханикалық моделін модельдеуге көмектеседі. BLK2GO Live қолданбасы батарея, диск кеңістігі немесе температура сияқты BLK2GO күйі туралы ақпаратқа қол жеткізуге және бар сканерленген кескіндерді визуализациялауға және басқаруға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: портативті лазерлі сканер, жақтау моделі, тау-кен өндірісі, тау-кен өндірісі, нүктелік бұлт, түсіру, электронды тахеометр, кеніштің 3D-моделі.

Operational construction of digital models of mining operations at the Zhezkazgan mineral deposits Based on the use of manual scanning

Abstract. The article describes the features of laser scanning of mining and mining workings at the Zhezkazgan field. The order of filming using a manual laser scanner Leica BLK2GO, the construction of three-dimensional models are given. The technology of underground scanning using a hand-held scanner allows you to speed up the process of surveying mining workings that are completely inaccessible to surveyors and obtain high-precision 3D models of the mine, which will subsequently help to simulate the geomechanical model of the deposit. The BLK2GO Live application allows you to access information about the status of BLK2GO, such as battery, disk space or temperature, as well as to visualize and manage existing scanned images.

Key words: hand-held laser scanner, frame model, mining, mining face, point cloud, survey, electronic total station, 3D model of the mine.

Введение

За последние 20 лет в горнодобывающей промышленности стремительно развивается применение лазерного сканирования в подземных условиях. Впервые экспериментальным путем с помощью установленного на тележке трехмерного лазерного сканера с высоким разрешением получена 3D модель в подземной угольной шахте Quesneek (Квикрик, США) [1]. Применение данной технологии имело ряд преимуществ, однако по точности 3D моделей вызывало множество вопросов, где проводились исследования с целью получения плотного облака точек подземных горных выработок [2, 3].

Методы исследования

Технологии подземного сканирования с помощью ручного сканера позволяют ускорить процесс обследования горных выработок, абсолютно недоступных для маркшейдеров участков и получить высокоточные 3D-модели рудника, что в последующем поможет смоделировать геомеханическую модель месторождения [4]. Кроме того, цифровые модели горных выработок, полученные в результате сканирования, позволяют оптимизировать процессы, связанные с разведкой, планированием и эксплуатацией. Полученные данные со сканера интегрируются в любые ГИС.

Сканирование горных выработок сканером Leica BLK2GO выполняется и на Жезказганском месторождении Западного рудника шахты 67-70 в Панели А-12 залежи АС 9-III буропогрузочного штрека 3 бис и на добычном участке №4 П-12 залежи АС 9-II.

При сканировании используется сканер типа Leica BLK2GO (рис. 1). Это беспроводной портативный лазерный сканер, который плавно захватывает трехмерную среду, пока маркшейдер находится в движении, и непрерывно создает цифровое представление реальности в виде трехмерных облаков точек. Компактность и портативность сканера обеспечивает гораздо большую степень мобильности, а также доступ к пространствам и объектам, где раньше было сложно или невозможно сканировать [5].

Лазерный сканер Leica BLK2GO – это уникальное решение в области сканирования, в котором удачно сочетаются мобильность и функциональность. Прибор на ходу производит съемку в высоком разрешении и создает бесшовное облако точек для построения достоверных, точных 3D-моделей. В основе этой модели лежит SLAM-технология одновременной локализации и построения объемной карты, благодаря которой устройство с высокой точностью соотносит окружающую обстановку с перемещениями оператора лазерного сканера [6].

Конструктивно сканер представляет собой пластико-

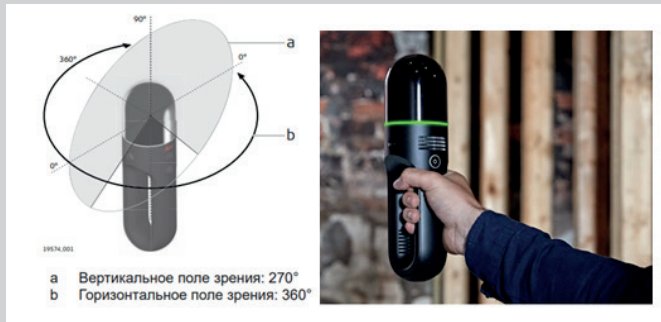


Рис. 1. Беспроводной ручной лазерный сканер Leica BLK2GO.

Сурет 1. Leica BLK2GO сымсыз портативті лазерлі сканер.

Figure 1. Leica BLK2GO Wireless Handheld Laser Scanner.

вый корпус, из чего состоит лазерный сканер: это двухосевой лидар, система панорамного видения, одна камера высокого разрешения. Если вдруг вы сканируете выработку и где-то видите трещину, вывалы в стене, вы можете это зафиксировать, навести на объект, нажать кнопку, и камера сделает снимок высокого разрешения и присоединит к тому месту, где сканировали. Управляется все одной кнопкой – достаточно нажать на кнопку, и он начнет сканировать [7].

Неоспоримые положительные плюсы использования портативных лазерных сканеров:

- легкость сканера и высокая скорость сканирования.

Маркшейдерская съемка происходит во время обхода горной выработки, склада со сканирующим сенсором в руках. Сенсор устанавливается на веху длиной до 6 метров. Дальность съемки сканером до 200 метров. Процесс набора измерений отображается на контрольном устройстве. Маркшейдер может провести съемку на ходу и затем создать цифровую модель с использованием специальных программ обработки данных сканирования. Такая оперативность получения данных дает возможность вовремя и точно определять геометрические параметры горных выработок и складов с наименьшими рисками. Высокая детализация объектов изысканий позволяет получать точные данные, на основе которых в программах можно быстро построить каркас шахты или создать цифровую модель и произвести расчеты;

- сканирование не требует дополнительного съемочного обоснования. Координатная привязка происходит по контрольным точкам (тахеометрическим), которые фиксируются в процессе сканирования;

- точные результаты получаются в самых сложных условиях: пыль, влага, полная темнота, удаленность.

- большим преимуществом систем является возможность загрузки облаков точек в ГГИС предприятия, для дальнейшего использования и обработки.

Результаты исследования

Объемное (3D) моделирование горных выработок на рудных шахтах является одним из новых методов, но получившее в настоящее время широкое распространение

и практическое применение. Моделирование в горнодобывающей отрасли является одним из важных элементов технологического процесса. Уровень научно-технического развития промышленности в целом диктовал те методики, которые применялись раньше при проектировании и моделировании. Эти методики, соответственно, оказывали решающее влияние на качество и эффективность как моделей, так и производительности отрасли [8].

Перед началом сканирования определяются координаты центра опознавательных знаков. Опознавательные знаки необходимы для геопривязки к местной системе координат облака данных, полученных в процессе сканирования. Для этого проводится установка тахеометра под точкой, координаты которой известны (рис. 2а). Затем производится тахеометрическая съемка размеченных знаков, которых для привязки сканером должно быть не менее 4 штук.

После задания точек, сканер устанавливается на специальный штатив. При включении прибора производится калибровка его положения в пространстве. По готовности сканера световой индикатор загорается зеленым светом. После чего необходимо произвести сопряжение (привязку) специального мобильного приложения BLK2GO Live с прибором для мониторинга 3D сканирования в реальном времени (рис. 2б). Наличие в нем приложения-компьютера, которое сочетается с беспроводным портативным лазерным сканером, позволяет видеть живую визуальную обратную связь во время проведения сканирования.

Применяемая аппаратура и оборудование при проведении сканирования может использовать 3D сканер и электронный тахеометр Leica TS06.



Рис. 2. Порядок выполнения работ:

а – установка тахеометра под точкой с известными координатами;

б – сопряжение специального мобильного приложения BLK2GOLIVE с прибором.

Сурет 2. Жұмыстарды орындау тәртібі:

а – координаталары белгілі нүктенің астына тахеометрді орнату;

б – BLK2GOLIVE арнайы мобильді қосымша арқылы құралмен байланыстыру.

Figure 2. The order of execution of works:

а – installation of the total station under a point with known coordinates;

б – pairing a special BLK2GOLIVE mobile application with the device.

При 2D-просмотре приложение BLK2GO Live показывает в режиме реального времени двухмерный вид сверху того, что захватывает BLK2GO. Этот вид «плана этажа» дает мгновенную визуальную обратную связь, чтобы направлять вашу траекторию во время сканирования.

При 3D-просмотре приложение BLK2GO Live также показывает 3D-рендеринг облаков точек, снятых в режиме реального времени, что позволяет вам видеть единообразие и полноту ваших сканирований [9].

Во время проведения сканирования есть возможность делать отдельные изображения с высоким разрешением, нажимая кнопку BLK2GO во время сканирования. Каждое изображение, полученное во время сканирования, дает возможность обеспечить захват всех характерных точек, необходимых для построения трехмерной модели горных выработок. Приложение BLK2GO Live позволяет получить доступ к информации о состоянии BLK2GO, такой как аккумулятор, дисковое пространство или температура, а также для визуализации и управления существующими сканированными изображениями. Передвигаться необходимо неторопливым шагом, сильно не раскачивая прибор. Процесс сканирования аналогичен вышеприведенному для проходческой выработки. Отличием является то, что обход добычных забоев со сканером производится по контуру отработанной выработки.

Процесс сканирования аналогичен вышеприведенному для проходческой выработки. Отличием является то, что обход добычных забоев со сканером производится по контуру отработанной выработки. Экспортированные данные переходят к следующему этапу – этап обработки облака точек. На данном этапе используется ПО Micromine. Данная программа предоставляет набор основных инструментов для создания трехмерной модели из облака точек [10].

Применяемая аппаратура и оборудование при проведении сканирования может использовать 3D сканер и электронный тахеометр Leica TS06.

При производстве сканирования выработанного пространства фактическое положение горной выработки отображается на дисплее смартфона. Данные со сканера передаются на дисплей смартфона через Wi-Fi соединение. После калибровки сканера производится сканирование ранее заданных и размеченных опознавательных знаков. Для этого подходим к размеченным точкам при включенном режиме сканирования на расстоянии 1,5 м от размеченного знака. Далее производится сканирование горных выработок. Для этого маркшейдер производит обход по оси горнопроходческой выработки, удерживая сканер в вертикальном положении, сканирующей головкой вверх (рис. 3).

Каркасная модель выработки строится в ПО Micromine в связи с тем, что необходимый функционал для подсчета объемов и площади в ПО Cyclone REGISTER 360 отсутствует. В ПО Micromine имеется возможность вручную редактировать каркасную модель выработки. Программа способна найти ошибки в неправильно построенной модели и исправить их. Подсчет площади и объемов каркасной модели проводится именно в ПО Micromine.

Наложенная модель, построенная из облака данных, полученных по результатам сканирования (синим цветом), рисунок 4.

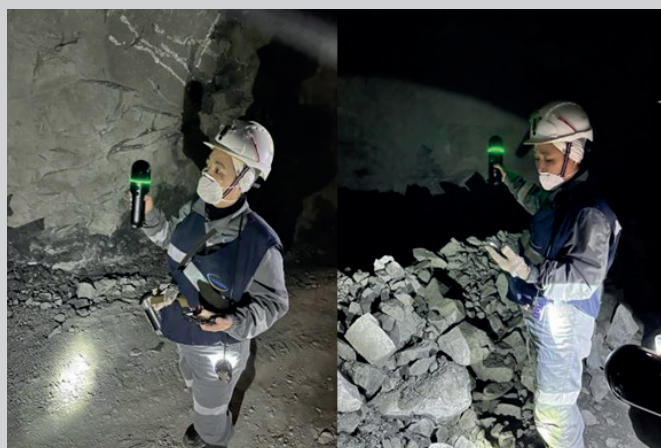


Рис. 3. Сканирование горных выработок:
а – горнопроходческой выработки; б – добычного забоя.

Сурет 3. Тау-кен қазбаларын сканерлеу:
а – тау-кен қазбасы; б – өндіру кенжары.

Figure 3. Scanning of mine workings:
a – mining; b – mining face.

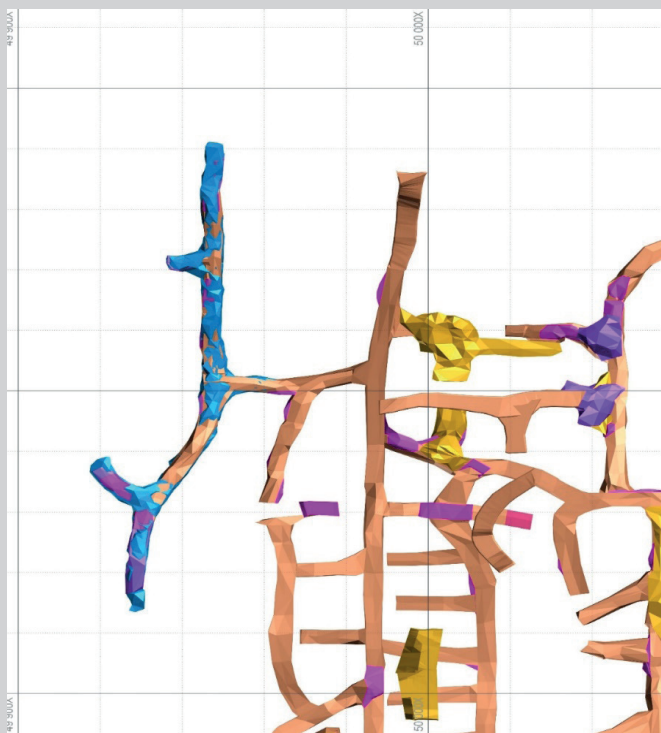


Рис. 4. Наложенная модель горнопроходческих выработок по результатам сканирования.

Сурет 4. Сканерлеу нәтижелері бойынша тау-кен қазбаларының біріктірілген моделі.

Figure 4. Superimposed model of mining workings based on the results of scanning.

Наложенная модель, построенная из облака данных, полученных по результатам сканирования (синим цветом), рисунок 5.

Выполнен анализ точности 3D моделей, построенных по результатам съемок, выполненных электронным тахеометром и с помощью ручного сканера Leica BLK2GO.

Анализ точности результатов съемки двумя способами

Түсірілім нәтижелерінің дәлдігін екі жолмен талдау

Analyzing the accuracy of the survey results in two ways

Таблица 1

Кесте 1

Table 1

Вид работ	3D модель, построенная при помощи тахеометра (объем м³)	3D модель, построенная при помощи сканирования (объем м³)	Отклонение, м³	Отклонение, %
ГПР	3901,656	4076,792	-175,136	4,5%
Добыча	8058,404	8132,134	-73,73	0,9%
Итого	11960,06	12208,926	-248,866	5%

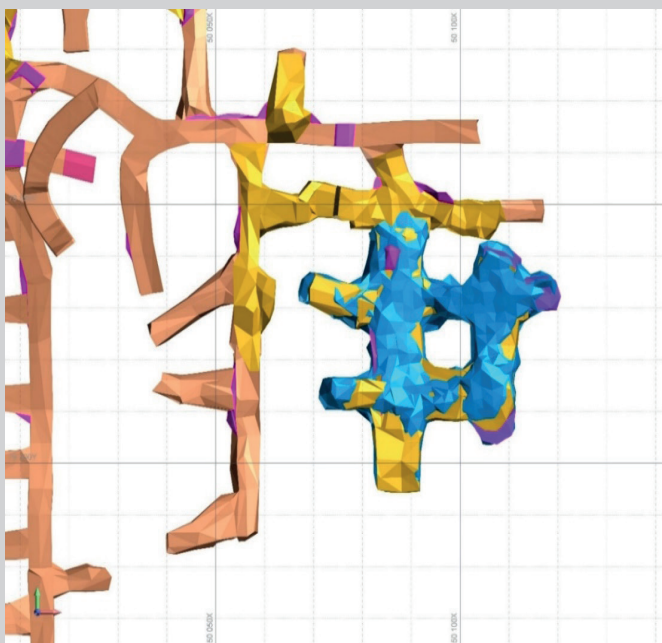


Рис. 5. Наложенная модель добычных выработок по результатам сканирования.

Сурет 5. Сканерлеу нәтижелері бойынша тау-кен қазбаларының біріктірілген моделі.

Figure 5. Superimposed model of mining ores based on scanning results.

Таким образом, полученные данные сканирования горных выработок позволяют констатировать, что положение внешних контуров более точнее на 10-15% фиксируются с помощью ручного лазерного сканера, это связано большей плотностью съемки сканером, а также могут быть использованы при построения цифровой модели горных выработок шахты и рудника в целом.

Основным измерительным прибором является тахеометр, так как он является высокоточным и отвечает всем требованиям при производстве работ и развитии опорных сетей.

Заклучение

Полученные цифровые модели подготовительных и очистных горных выработок с помощью ручного лазерного сканера Leica BLK2GO являются значительным технологическим новшеством в маркшейдерии и геомеханике, облегчающим условия получения информации для обеспечения безопасного ведения подземных работ. Установлено принципиальное отличие технологии лазерного сканирования от традиционных методов геодезических измерений, оно заключается в том, что данная технология позволяет собирать большой объем информации за очень короткий интервал времени путем сканирования и получения координат облаков точек поверхностей с высокой точностью. По полученным сканам строится каркасная модель горных выработок и оперативно вычисляются объемы и площади снимаемых горных выработок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Huber Daniel. Автоматическое 3D-картографирование подземных шахт. / Huber Daniel, Vandapel Nicolas. // Полевая и сервисная робототехника. 2006. №11. С. 497-506 (на английском языке)
2. Chen Yuwei, Tang Jian, Нуурпә Juha, Wen Zhijie, Li Chuanrong, Zhu Lingli. Мобильное лазерное сканирование на основе 3D-технологии для моделирования и позиционирования минеральной среды. // Четвертая международная конференция по повсеместному позиционированию, навигации внутри помещений и геолокационным сервисам, 2016. – С. 289-294 (на английском языке)
3. Kajzar Vlastimil. Проверка возможностей использования 3D лазерного сканера в подземных горных выработках. / Kajzar Vlastimil, Kukutsch Radovan, Heroldová Nikola. // Геодинамика и геоматериалы. 2015. Т. 12. Вып. 1. С. 51-58 (на английском языке)
4. Овчаренко А.В. Сканирование подземных пустот и полостей 3D-сканированием. // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. ГИ УрО РАН, ПГНИУ. Пермь, 2015. №3. С. 161-163 (на русском языке)

5. Управление устойчивостью техногенных горных сооружений. Под ред. проф. Низаметдинова Ф.К. Караганда: Изд-во полиграфический центр Казахстанско-Российского университета, 2014, С. 656 (на русском языке)
6. Низаметдинов Ф.К. Маркшейдерские службы горнодобывающих предприятий Казахстана: Караганда: КарТУ, 2023, С. 202 (на русском языке)
7. Труды международного маркшейдерского Форума: «Геопространственная цифровая инженерия в геодезии, маркшейдерии и геомеханике», Караганда: Санат-полиграфия, 2022. – С. 157 (на русском языке)
8. Nizametdinov N.F. Система автоматизированного контроля состояния насыпных дамб хвостохранилищ обогатительных фабрик. / N.F. Nizametdinov, F.K. Nizametdinov, D.K. Elimanov, M.B. Igemberlina. // Горный журнал. 2023. №2. С.63-67 (на русском языке)
9. Nizametdinov F.K. Инструментальный мониторинг стабильности запасов руды в зоне кучного выщелачивания. / F.K. Nizametdinov, N.F. Nizametdinov, R.F. Nizametdinov, A.O. Oralbai. // Горный журнал. 2022. №2. С.19-22 (на русском языке)
10. Nizametdinov N.F. Анализ смещений земной поверхности под влиянием повторных горных работ в Жезказганском районе. / N.F. Nizametdinov, V.D. Baryshnikov, R.F. Nizametdinov, M.B. Igemberlina, H. Stanková, Zh.M. Baturshaeva. // Журнал горной науки. 2021. Т. 57. Вып. 2. С. 184-189 (на английском языке)

ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Huber Daniel. Жерасты шахталарын автоматты түрде 3D картаға түсіру. / Huber Daniel, Vandapel Nicolas. // Далалық және сервистік робототехника. 2006. №11. – Б. 497-506 (ағылшын тілінде)
2. Chen Yuwei, Tang Jian, Нуурпә Juha, Wen Zhijie, Li Chuanrong, Zhu, Lingli. Минералды ортаны модельдеуге және орналастыруға арналған 3D технологиясына негізделген мобильді лазерлік сканерлеу. // Кең таралған позициялау, ішкі навигация және геолокациялық қызметтер бойынша төртінші халықаралық конференция, 2016. – Б. 289-294 (ағылшын тілінде)
3. Kajzar Vlastimil. Жерасты тау-кен қазбаларында 3D Лазерлік Сканерді пайдалану мүмкіндіктерін тексеру. / Kajzar Vlastimil, Kukutsch Radovan, Heroldová Nikola. // Геодинамика және геоматериалдар. 2015. Т. 12. Шығ. 1. Б. 51-58 (ағылшын тілінде)
4. Овчаренко А.В. Жер асты қуыстары мен қуыстарын 3D сканерлеу арқылы сканерлеу. // Геофизикалық өрістерді геологиялық интерпретациялау теориясы мен практикасының мәселелері. ГИ УрО РАН, ПГНИУ. Пермь, 2015. №3. Б. 161-163 (орыс тілінде)
5. Техногендік тау құрылыстарының тұрақтылығын басқару. Жалпы редакциясымен проф. Низаметдинова Ф.К. Қарағанды: Қазақстан-Ресей университетінің полиграфиялық орталығы, 2014, Б. 656 (орыс тілінде)
6. Низаметдинов Ф.К. Қазақстанның тау-кен өндіру кәсіпорындарының маркшейдерлік қызметтері: Қарағанды: КарТУ, 2023. Б. 202 (орыс тілінде)
7. Халықаралық маркшейдерлік форумның еңбектері: «Геодезия, маркшейдерия және геомеханикадағы геокеңістіктік цифрлық инженерия», Қарағанды: Санат-полиграфия, 2022. – Б. 157 (орыс тілінде)
8. Nizametdinov N.F. Байыту фабрикаларының қалдық қоймаларының үйінді бөгеттерінің жай-күйін автоматтандырылған бақылау жүйесі. / N.F. Nizametdinov, F.K. Nizametdinov, D.K. Elimanov, M.B. Igemberlina. // Тау-кен журналы. 2023. №2. Б. 63-67 (орыс тілінде)
9. Nizametdinov F.K. Үйінді шаймалау аймағындағы кен қорының тұрақтылығын аспаптық бақылау. / F.K. Nizametdinov, N.F. Nizametdinov, R.F. Nizametdinov, A.O. Oralbai. // Тау-кен журналы. 2022. №2. Б. 19-22 (на русском языке)
10. Nizametdinov N.F. Жезқазған ауданындағы қайталама тау кен жұмыстарының әсерінен жер бетінің жылжуын талдау. / N.F. Nizametdinov, V.D. Baryshnikov, R.F. Nizametdinov, M.B. Igemberlina, Stanková H., Zh.M. Baturshaeva. // Тау-кен ғылымының журналы. 2021. Т. 57. Шығ. 2. Б. 184-189 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Huber Daniel. Automatic 3D Underground Mine Mapping. / Huber Daniel, Vandapel Nicolas. // Field and Service Robotics. 2006. №11. P. 497-506 (in English)
2. Chen Yuwei, Tang Jian, Нуурпә Juha, Wen Zhijie, Li Chuanrong, Zhu Lingli. Mobile laser scanning based 3D technology for mineral environment modeling and positioning. // The Fourth International Conference on Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation and Geolocation Services, 2016. – P. 289-294 (in English)
3. Kajzar Vlastimil. Verifying the possibilities of using a 3D laser scanner in the mining underground. / Kajzar Vlastimil, Kukutsch Radovan, Heroldová Nikola. // Geodynamics and geomaterials. 2015. Vol. 12. Issue 1. P. 51-58 (in English)

4. Ovcharenko A.V. Skanirovanie podzemnykh pustot i polostei 3D-ckanirovaniem. // *Voprosy teorii i praktiki geologicheskoi interpretatsii geofizicheskikh polei. GI UrO RAN, PGNIU. Perm', 2015. №3. S. 161-163* [Ovcharenko A.V. Scanning of underground voids and cavities by 3D scanning. // *Questions of theory and practice of geological interpretation of geophysical fields of the GI Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. PGNIU. Perm, 2015. №3. P.161-163*] (in Russian)
5. *Upravlenie ustoichivost'yu tekhnogennykh gornyykh sooruzhenii. Pod red. prof. Nizametdinova F.K. Karaganda: Izd-vo poligraficheskii tsentr Kazakhstansko-Rossiiskogo universiteta, 2014, S. 656* [Sustainability management of man-made mining structures. Edited by Prof. Nizametdinova F.K. Karaganda: Publishing house of the Polygraphic center of the Kazakh-Russian University, 2014, P. 656] (in Russian)
6. Nizametdinov F.K. *Surveying services of mining enterprises of Kazakhstan: Karaganda: KarTU, 2023, P. 202* [Nizametdinov F.K. Surveying services of mining enterprises of Kazakhstan: Karaganda: KarTU, 2023, P. 202] (in Russian)
7. *Trudy mezhdunarodnogo marksheiderskogo Foruma: «Geoprostranstvennaya tsifrovaya inzheneriya v geodezii, marksheiderii i geomekhanike», Karaganda: Sanat-poligrafiya, 2022. – S. 15* [Proceedings of the International Surveying Forum: «Geospatial digital engineering in geodesy, surveying and geomechanics», Karaganda: Sanat-polygraphy, 2022. – P. 157] (in Russian)
8. Nizametdinov N.F. *Sistema avtomatizirovannogo kontrolya sostoyaniya nasypanykh damb khvostokhranilishch obogatitel'nykh fabrik. / N.F. Nizametdinov, F.K. Nizametdinov, D.K. Elimanov, M.B. Igemberlina. // Gornyi zhurnal. 2023. №2. S.63-67* [Nizametdinov N.F. Automated control of earthfill dams at tailings storage facilities. / N.F. Nizametdinov, F.K. Nizametdinov, D.K. Elimanov, M.B. Igemberlina. // *Mining magazine. 2023. №2. P. 63-67*] (in Russian)
9. Nizametdinov F.K. *Instrumental'nyi monitoring stabil'nosti zasobov rudy v zone kuchnogo vyshchelachivaniya. / F.K. Nizametdinov, N.F. Nizametdinov, R.F. Nizametdinov, A.O. Oralbai. // Gornyi zhurnal. 2022. №2. S.19-22* [Nizametdinov F.K. Instrumental monitoring of ore stockpile stability in heap leaching area. / F.K. Nizametdinov, N.F. Nizametdinov, R.F. Nizametdinov, A.O. Oralbai. // *Mining magazine. 2022. №2. P. 19-22*] (in Russian)
10. Nizametdinov N.F. *Analysis of Ground Surface Displacements under the Influence of Repeated Mining Activities in the Zhezkazgan Area. / N.F. Nizametdinov, V.D. Baryshnikov, R.F. Nizametdinov, M.B. Igemberlina, H. Stanková, Zh.M. Batyrshaeva. // Journal of Mining Science. 2021. Vol. 57. Issue 2. P.184-189* (in English)

Сведения об авторах:

Низаметдинов Н.Ф., к.т.н., и.о. доцента кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени А. Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), leica@geobusiness.kz; <https://orcid.org/0000-0002-8881-1259>

Баймагамбетова Л.Д., магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени А. Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), baimagambetovalazzat67@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-2425-4450>

Игемберлина М.Б., доктор PhD, старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени А. Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), igemberlina@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4243-7748>

Сатбергенова А.К., докторант PhD, старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени А. Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), a.satbergenova@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5806-2827>

Авторлар туралы мәліметтер:

Низаметдинов Н.Ф., т.ғ.к., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының доцент м.а. (Қарағанды қ., Қазақстан)

Баймагамбетова Л.Д., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Игемберлина М.Б., PhD докторы, «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сатбергенова А.К., PhD докторанты, «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Nizametdinov N.F. Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor of the Department of Surveying and Geodesy, Karaganda State Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Baimagambetova L.D., undergraduate student of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Igemberlina M.B., Doctor of PhD, Senior Lecturer of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Satbergenova A.K., PhD student, Senior Lecturer of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)



2-й международный
конгресс и выставка
**ГОРНОРУДНЫЙ
КОНГРЕСС
КАЗАХСТАНА**

15–16 МАЯ 2024,
АСТАНА, КАЗАХСТАН

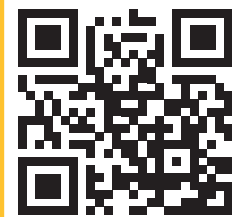
VOSTOCK CAPITAL
— 21 год динамичного успеха —

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР:



ГАЗПРОМБАНК

+44 207 394 30 90 (ЛОНДОН)
EVENTS@VOSTOCKCAPITAL.COM
MININGKAZ.COM/RU/



СРЕДИ ДОКЛАДЧИКОВ И ПОЧЕТНЫХ ГОСТЕЙ



**АНДРЕЙ
ЕРОШЕВ**

заместитель генерального
директора по горно-
перерабатывающему
комплексу,
Казфосфат



**ДАУРЕН
ОРАЗБАЕВ**

главный исполнительный
директор по развитию,
Алтыналмас



**МАРАТ
ШАЙМАРДАНОВ**

финансовый директор,
RG Gold



**ОЛЕГ
ПРОТАСОВ**

директор по переработке и
обогащению,
Казфосфат



**ВИКТОР
ПЕТРУХИН**

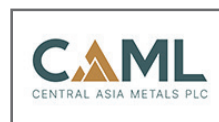
директор по технологии,
Бай Тау Минералс



**КАЙРАТ
МУКАТАЙ**

главный геолог,
**Актюбинская
медная компания**

СРЕДИ ПОСТОЯННЫХ УЧАСТНИКОВ



Код МРНТИ 53.31.21

*R.M. Zhdanov, M.S. Almagambetov, N.A. Ulmaganbetov, S.A. Laikhan
 LTD «R&D Centre ERG» (Aktobe, Kazakhstan)

BRIQUETTING OF CORROSION-RESISTANT ELECTRICALLY CONDUCTIVE POWDER

Abstract. The article presents the results of laboratory and industrial tests on the production of briquettes from dispersed metal dust, captured by aspiration units during the crushing of high-carbon ferrochrome. Technological operations on crushing and fractionation are accompanied by formation of a certain amount of siftings and dispersed metal dust. The latter is captured by the dry aspiration system included in the crushing and screening complex. At the moment, dispersed metal dust or so-called corrosion-resistant electrically conductive powder at the Aktobe Ferroalloy Plant is utilized by remelting. The main and significant disadvantage of the method used at the plant is a high proportion of mechanical losses of corrosion-resistant electrically conductive powder during loading into the furnace and dust removal from the furnace itself in the remelting process. In order to reduce losses of corrosion-resistant electrically conductive powder during remelting, we have studied in detail the options and solutions of briquetting by several methods based on increasing the strength of briquettes. Laboratory tests were carried out, which made it possible to determine the agglomeration recipe. According to the results of which a variant was selected for production of industrial batch of briquettes from corrosion-resistant electrically conductive powder.

Key words: corrosion-resistant electrically conductive powder, chrome spinel powder, chrome ore, binder, briquetting, ligno, liquid glass.

Коррозияға төзімді электр тоғын өткізгіш ұнтақты брикеттеу

Аннотация. Мақалада жоғары көміртекті феррохромды ұсақтау кезінде аспирациялық қондырғылар ұстайтын дисперсті металл шаңынан брикеттер жасау бойынша зертханалық және өнеркәсіптік сынақтардың нәтижелері көрсетілген. Ұсақтау және фракциялау бойынша технологиялық операциялар белгілі бір мөлшерде отрядтар мен дисперсті металл шаңының пайда болуымен қатар жүреді. Соңғысы ұсақтау-сұрыптау кешенінің құрамына кіретін құрғақ аспирация жүйесімен ұсталады. Қазіргі уақытта Ақтөбе феррохромды зауытында дисперсті металл шаң немесе коррозияға төзімді электр өткізгіш ұнтақ балқыту жолымен кәдеге жаратылады. Зауытта қолданылатын әдістің негізгі және маңызды кемшілігі-балқыту процесінде пешке және пештің өзінен шаңсорғышқа тиеу кезінде коррозияға төзімді электр өткізгіш ұнтағының механикалық шығындарының жоғары үлесі. Балқыту кезінде коррозияға төзімді электр өткізгіш ұнтағының жоғалуын азайту мақсатында брикеттердің беріктігін арттыруға негізделген бірнеше тәсілмен брикеттеудің нұсқалары мен шешімдері егжей-тегжейлі зерттелді. Тұндыру рецептурасын анықтауға мүмкіндік беретін зертханалық зерттеулер жүргізілді. Нәтижелері бойынша Коррозияға төзімді электр өткізгіш ұнтақтан жасалған брикеттердің өнеркәсіптік партиясын жасау үшін опция таңдалды.

Түйінді сөздер: коррозияға төзімді электр өткізгіш ұнтақ, хром шпинель ұнтағы, хром кені, байланыстырғыш, брикеттеу, лигно, сұйық шыны.

Брикетирование коррозионностойкого электропроводного порошка

Аннотация. В статье изложены результаты лабораторных и промышленных испытаний по изготовлению брикетов из дисперсной металлической пыли, улавливаемой аспирационными установками во время дробления высокоуглеродистого феррохрома. Технологические операции по дроблению и фракционированию сопровождаются образованием определенного количества отсевов и дисперсной металлической пыли. Последняя улавливается системой сухой аспирации, входящей в состав дробильно-сортировочного комплекса. На текущий момент дисперсная металлическая пыль или так называемый порошок коррозионностойкий электропроводной на Актюбинском заводе ферросплавов утилизируется путем переплава. Основным и существенным недостатком применяемого на заводе способа является высокая доля механических потерь порошка коррозионностойкого электропроводного при загрузке в печь и собственно пылеунос из самой печи в процессе переплава. С целью уменьшения потерь порошка коррозионностойкого электропроводного во время переплава были детально изучены варианты и решения брикетирования несколькими способами, основанными на увеличении прочности брикетов. Проведены лабораторные испытания, позволившие определить рецептуру окускования. По результатам выбран вариант для наработки промышленной партии брикетов из порошка коррозионностойкого электропроводного.

Ключевые слова: порошок коррозионностойкий электропроводной, хромшпинельный порошок, хромовая руда, связующее, брикетирование, лигно, жидкое стекло.

Introduction

Corrosion-resistant electrically conductive powder (CRP) is dusty waste from crushing and fractionation of high-carbon ferrochrome (HFC), with a size class of 1 mm or less. More than 96% of the material is a powder with a grain size of less than 0.071 mm (Table 1).

aspiration dust from crushing of HFC, the annual volume of its formation at two ferroalloy plants (Aktobe and Aksu) is about 4500 tons.

Alluvial processing of CRP by remelting is associated with significant mechanical losses during loading into the furnace, oxidation and dust carryover into the gas cleaning system. According to estimates, the losses amount to 15-20% of the total annual volume of CRP formation. Taking this into account, there is a need to minimize or exclude such losses by rational methods of their recycling. One of quite simple and widespread ways of dispersed materials utilization is briquetting by semi-dry pressing method and further remelting of the obtained briquettes [1-2].

Methods

The laboratory of metallurgy determined the optimal composition of the mixture for briquette formation, as well as selected the type and amount of binder material. Two materials were determined as a binder: sodium liquid glass (LG) produced by the Aktobe Ferroalloy Plant and Ligno polymer binder. Due to poor adhesion associated with low wettability CRP were selected variants of mixtures using different inert materials. In the first case poor dust of bag filters of gas purifiers of smelting shop No.1, chrome-spinel powder (CSP-01), in the second case chrome ore of RH-2 grade, which is universally used in all smelting shops of the Aktobe Ferroalloy Plant,

Table 1
Fractional composition of CRP

КТҰ фракциялық құрамы

Таблица 1

Фракционный состав ПКЭ

Fraction, mm	Content, %
+0,2	0,07
-0,2 – 0 ,16	0,14
-0,16 – 0,125	0,31
-0,125 – 0,071	2,75
-0,071	96,73

Processing of this dust into marketable products is an urgent task of involvement in metallurgical processing of technogenic raw materials. An open issue is the effective utilization of

was used. Further all variants of mixtures for briquetting were summarized in Table 2.

Table 2
The result of the splitting strength of briquettes

Кесте 2
Брикеттердің бөліну беріктігінің нәтижесі

Таблица 2
Результат прочности брикетов на раскол

No. of mix variant	Materials	Binder type	Binder consumption, %
1	CRP	LG	6
2	CRP	LG	8
3	CRP	Ligno	3
4	CRP	Ligno	4
5	CRP	LG / Ligno	3:3*
6	CRP	LG / Ligno	4:4
7	CRP + RH-2 (80/20)	LG	6
8	CRP + RH-2 (80/20)	LG	8
9	CRP + CSP-01 (80/20)	LG	6
10	CRP + CSP-01 (80/20)	LG	8
11	CRP + RH-2 (80/20)	Ligno	3
12	CRP + RH-2 (80/20)	Ligno	4
13	CRP + CSP-01 (80/20)	Ligno	3
14	CRP + CSP-01 (80/20)	Ligno	4
15	CRP + RH-2 (80/20)	LG / Ligno	3
16	CRP + RH-2 (80/20)	LG / Ligno	4
17	CRP + CSP-01 (80/20)	LG + Ligno	3:3
18	CRP + CSP-01 (80/20)	LG + Ligno	4:4

*- consumption LG 3%: consumption Ligno 3%

The introduction of inert fillers in the form of CSP-01 and ore did not lead to an increase in particle cohesion during the briquetting process for the variants where liquid glass was used as a binder. At the same time, a positive effect was obtained in the variants where Ligno was used. After dosing the components of the charge according to table 3, dry mixing was carried out in a mixer until the mixture was completely averaged. The resulting mixture was then moistened and continued mixing until a homogeneous consistency was obtained. Moisture was varied between 3-5% of the weight of dry material. The prepared mixture was poured into a mold (d channel – 30 mm) and briquetted on a press model IP-1000-1 with a compression force of 30 kN per briquette (with a calculated force of 425 kg per 1 cm²). The obtained briquettes were subjected to forced drying at a temperature of 120°C for 3 hours. At the

end of drying, the briquette splitting strength was measured [3-4].

It should be noted that when briquetting mixtures on pure CRP (variants №1-6), regardless of the type of binder had extremely low raw strength and easily destroyed. Increasing the compression force led to the appearance of deep transverse cracks and breaks, indicating over compression. This is clearly demonstrated in figure 1.



Figure 1. Appearance of briquettes.
Сурет 1. Брикеттердің сыртқы түрі.
Рис. 1. Внешний вид брикетов.

The introduction of inert fillers in the form of CSP-01 and RH-2 did not lead to the stabilization of the briquetting process for the variants where liquid glass was used (mixture #7-10). In the remaining variants the addition of inert fillers had a positive effect (mixtures №11-18). The results of measurements of strength characteristics (for the obtained) briquettes for the variants of mixtures are given in table 3.

According to Table 3, briquettes of almost all variants have high mechanical strength, with the required 150 kg/briquette for briquetted chromium raw material (according to TR 03-31-2021 «Production of briquettes from chromium concentrate»). However, attention should be paid to briquettes with maximum raw strength values, because the higher the raw briquette strength values, the higher the dry briquette strength. For carrying out pilot tests, it is necessary to choose variants of mixtures with maximum strength indices, as the briquetting equipment of Aktobe Ferroalloy Plant provides for a high proportion of mechanical impact on the raw briquettes (screening, manual laying of raw briquettes). Mixtures No.2 and No.4 with a combination of CRP, CSP or chrome ore using Ligno polymer binder meet these conditions [5].

We tested only the mixture based on CRP and CSP-01 in the amount of 30-50 kg, because the experiments on the roller press showed that coarse-grained ore negatively affects the briquette forming. The ready mixture was poured onto the molding plate of the press with the pressed briquette in the form of a brick with the size of 250 × 120 × 90 mm. The briquettes were sufficiently strong in the raw form without microcracks and delaminations [7-8].

The industrial batch of briquettes was produced according to the following methodology. First, CRP, CSP-01 and binder were weighed separately using platform scales. Then the weighed materials were poured into the casting mixer (Fig. 2) and its lid was closed to prevent dusting. Then the electric drive was switched on and dry mixing of the mixture components was carried out for 5 minutes. Upon completion of dry

The result of the splitting strength of briquettes

Table 3

Брикеттердің бөліну беріктігінің нәтижесі

Кесте 3

Результат прочности брикетов на раскол

Таблица 3

No. of mix variant	Composition	Binder, %		W, %	Molding force, kN	Raw splitting strength, kgs/ briquette	Splitting strength after drying 120 °C, 3h, kgs/briquette
		Ligno	LG				
11	CRP-RH-2 (80:20)	3	0	5	30	35	318
12	CRP-RH-2 (80:20)	4	0	5		38	388
13	CRP+CSP-01 (80:20)	3	0	5		34	297
14	CRP+CSP-01 (80:20)	4	0	5		41	505
15	CRP-RH-2 (80:20)	3	3	3		27	182
16	CRP-RH-2 (80:20)	4	4	3		32	432
17	CRP + CSP-01 (80:20)	3	3	4		26	149
18	CRP + CSP-01 (80:20)	4	4	4		31	354

mixing, the mixer was turned off and water was poured in to moisten the mixture. After pouring water again closed the lid of the mixer and re-mixed the moistened mass for 5-7 minutes. The amount of materials for one mixing was: CRP – 400 kg, CSP-01 – 100 kg, ligno – 20 kg and water 25 liters.



Figure 2. Foundry mixer.
Сурет 2. Құю араластырғыш.
Рис. 2. Смеситель литейный.

Raw briquettes (brick-shaped) after molding were transferred into special pallets, then the pallets were placed on technological carts and rolled into a tunnel kiln for drying. Drying of briquettes in the oven was carried out at a temperature of 150 °C for 16 hours. The appearance of dried briquettes is shown in Figure 3a. For convenience of further processing (remelting), taking into account the geometric dimensions of the necks of the feed pockets of furnace No.39, the briquettes were broken into several pieces and packed into big bags (Fig. 3b) for transportation to the melting section of the shop [9-10].

Results

The obtained strength values of dried briquettes are sufficient for metallurgical processing (Table 4). As practice shows, such briquettes can withstand multiple overspills and

drops during transportation to the smelting furnace with minimal formation of fines.



Figure 3. Appearance of dried and packaged briquettes: a) briquettes after drying; b) briquettes after packing in big bags.

Сурет 3. Кептірілген және оралған брикеттердің сыртқы түрі: а) кептіруден кейінгі брикеттер; б) биғ-бәзге ораудан кейінгі брикет.
Рис. 3. Внешний вид высушенных и упакованных брикетов: а) брикеты после сушки; б) брикеты после упаковки в биғ-бәзги.

Strength of briquettes after drying at 150 °C for 5 hours

Table 4

5 сағат бойы 150 °C температурада кептірілгеннен кейін брикеттердің беріктігі

Кесте 4

Прочность брикетов после сушки при 150 °C в течение 5 часов

Таблица 4

Mix composition	Ligno, %	Strength, kg/cm ²
CRP+CSP-01 (80:20)	4	293,67
		276,34
		281,12

Conclusions

The technology of CRP briquetting has been worked out on an industrial scale. It was determined that the optimal type of binder material is Ligno polymer binder with a consumption of 4% (dry) at a mixture moisture content of no more than 5%. Briquettes, without visible microcracks, are obtained with the

addition of CSP-01. The obtained briquettes fully meet the needs of production in terms of their qualitative characteristics. Solving the issue of reducing the geometric dimensions of briquettes produced on a hydraulic press in the vacuum-thermal department of melting shop No. 1 will allow them to be fed into the melting furnace without an additional crushing procedure.

REFERENCES

1. *Utilizatsiya i rekuperatsiya otkhodov: Uchebnoe posobie, izdanie 2-e, ispravlennoe i dopolnennoe.* / M.E. Krasnyansky. Kharkiv: Burun Kniga, 2007, 265 s. [Waste disposal and recovery: Textbook, 2nd edition, revised and expanded. / M.E. Krasnyansky. Kharkiv: Burun Book. 2007. 265 p.] (in Russian)
2. Dubovets D.S. *Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya metallosoderzhashchei pyli aspiratsionnykh ustanovok v kachestve vtorichnogo syr'ya liteino-plavil'nogo proizvodstva.* // Zhurnal Sci-article. 2020. №88. S. 58-64 [Study of the possibility of using metal-containing dust from aspiration units as a secondary raw material for foundry and smelting production. // Sci-article magazine. 2020. №88. P. 58-64] (in Russian)
3. A.s. 1156806 SSSR. *Sposob prigotovleniya zhidkostekol'nogo svyazuyushchego dlya izgotovleniya liteinykh form i sterzhnei.* / Shadrin N.I., Volokita V.Ya., Kuchmiy N.I. i dr.; opubl. 1989. Byull. №35 [C.c. 1156806 USSR. A method for preparing a liquid glass binder for the manufacture of foundry molds and cores. / Shadrin N.I., Volokita V.Ya., Kuchmiy N.I. and etc.; publ. 1989. Bulletin. №35] (in Russian)
4. Kukuy D.M. *Issledovanie modifitsirovaniya vodnykh rastvorov silikata natriya neorganicheskimi materialami:* Sb. Minsk: Metallurgiya, 1984, S. 76-78 [Kukuy D.M. Study of modification of aqueous solutions of sodium silicate with inorganic materials: Coll. Minsk: Metallurgy, 1984, P. 76-78] (in Russian)
5. Korneev V.I. *Zhidkoe i rastvorimoe steklo:* SPb.: Stroiizdat, 1996, S. 216 [Korneev V.I. Liquid and soluble glass: St. Petersburg: Stroyizdat, 1966, P. 216] (in Russian)
6. Zhang G. *Review of briquette binders and briquetting mechanism.* / G. Zhang, Y. Sun, Y. Xu. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 82. P. 477-487 (in English)
7. Elishevich A.T. E 51. *Briketirovanie poleznykh iskopaemykh: Uchebnyk dlya vuzov.* M.: Nedra, 1989, S. 300 [Briquetting of minerals: Textbook for universities. M.: Nedra, 1989. – P. 300] (in Russian)
8. V.A. Noskov, V.I. Bolshakov, B.N. Maymur, E.V. Lapin, V.I. Olshansky. *Opytno-promyshlennoe proizvodstvo briketov iz otsevov ferrosplavov na NZF.* // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2004. №1. S. 3 [Pilot production of briquettes from ferroalloy screenings at NZF. // Metallurgical and mining industry. 2004. №1. P. 3] (in Russian)
9. Hasan T. *Finite element analysis of briquetting of iron ore fines.* / T. Hasan, C. Li, Y. Shen, A. Yu., R. Yang. // Powder Technology. 2019. Vol. 353. P. 398-408 (in English)
10. Khudyakov A. *Optimization of briquetting technology of fine-grained metallurgical materials based on statistical models of compressibility.* / A. Khudyakov, S. Vashchenko, K. Baiul, Y. Semenov, P. Krot. // Powder Technology. 2022. Vol. 412. A. 118025. P. 1-12 (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қалдықтарды қайта өңдеу және қалпына келтіру: Оқулық, 2-ші басылым, қайта қаралған және кеңейтілген. / М.Е.Краснянский. Харьков: Бурун кітабы, 2007. 265 б (орыс тілінде)
2. Дубовец Д.С. *Аспирациялық қондырғылардың құрамында металды бар шаңды құю және балқыту өндірісі үшін қайталама шикізат ретінде пайдалану мүмкіндігін зерттеу.* // Ғылыми мақала журналы. 2020. №88. Б. 58-64 (орыс тілінде)
3. А.к. 1156806 КСРО. *Құю қалыптары мен өзектерді дайындау үшін сұйық шыны байланыстырғышты дайындау әдісі.* / Шадрин Н.И., Волокита В.Я., Кучмий Н.И. және т.б.; баспа. 1989, Бюлл. №35 (орыс тілінде)
4. Кукуй Д.М. *Натрий силикатының сулы ерітінділерін бейорганикалық материалдармен модификациялауды зерттеу:* Ст. Минск: Metallurgiya, 1984, Б. 76-78 (орыс тілінде)
5. Корнеев В.И. *Сұйық және еритін шыны:* СПб.: Стройиздат, 1996, Б. 216 (орыс тілінде)
6. Чжан Г. *Брикетті байланыстырғыштар мен брикеттеу механизміне шолу.* / Г. Чжан, Ю. Сунь, Ю. Сюй. // Жаңартылатын және тұрақты энергия көздеріне шолулар. 2018. Т. 82. Б. 477-487 (ағылшын тілінде)
7. Елишев А.Т. E 51. *Пайдалы қазбаларды брикеттеу: ЖОО-ға арналған оқулық.* М.: Недра, 1989, Б. 300 (орыс тілінде)
8. Носков В.А. *NZF-де ферроқорытпа сүзгілерінен брикеттерді тәжірибелік өндіру.* / В.А. Носков, В.И. Большаков, Б.Н. Маймур, Е.В. Лапин, В.И. Ольшанский. // Metallurgiya және тау-кен өнеркәсібі. 2004. №3. Б. 3 (орыс тілінде)

9. Хасан Т. Темір рудасының ұсақ бөлшектерін брикеттеудің ақырлы элементтерді талдауы. / Т. Хасан, Ч. Ли, Я. Шен, А. Ю, Р. Ян. // Ұнтақты технологиялар. 2019. Т. 353. Б. 398-408 (ағылшын тілінде)
10. Худяков А. Сығылудың статистикалық үлгілері негізінде ұсақ түйіршікті металлургиялық материалдар үшін брикеттеу технологиясын оңтайландыру. / А. Худяков, С. Ващенко, К. Баюл, Ю. Семенов, П. Крот. // Ұнтақты технологиялар. 2022. Т. 412. А. 118025. Б.1-12 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Утилизация и рекуперация отходов: Учебное пособие, издание 2-е, исправленное и дополненное. / М.Е. Краснянский. Харків: Дубовец Д.С. Исследование возможности использования металлосодержащей пыли аспирационных установок в качестве вторичного сырья литейно-плавильного производства. // Журнал Sci-article. 2020. №88. С. 58-64 (на русском языке)
3. А.с. 1156806 СССР. Способ приготовления жидкостекольного связующего для изготовления литейных форм и стержней. / Шадрин Н.И., Волокита В.Я., Кучмий Н.И. и др.; опубл. 1989. Бюлл. №35 (на русском языке)
4. Кукуй Д.М. Исследование модифицирования водных растворов силиката натрия неорганическими материалами: Сб. Минск: Металлургия, 1984, С. 76-78 (на русском языке)
5. Корнеев В.И. Жидкое и растворимое стекло: СПб.: Стройиздат, 1996, С. 216 (на русском языке)
6. Чжан Г. Обзор связующих для брикетов и механизма брикетирования. / Г. Чжан, Ю. Сунь, Ю. Сюй. // Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии. 2018. Т. 82. С. 477-487 (на английском языке)
7. Елишевич А.Т. Е 51. Брикетирование полезных ископаемых: Учебник для вузов. М.: Недра, 1989, С. 300 (на русском языке)
8. Носков В.А. Опытнo-промышленное производство брикетов из отсевов ферросплавов на НЗФ. / В.А. Носков, В.И. Большаков, Б.Н. Маймур, Е.В. Лапин, В.И. Ольшанский. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2004. №3. С. 3 (на русском языке)
9. Хасан Т. Конечнo-элементный анализ брикетирования мелочи железной руды. / Т. Хасан., Ч. Ли, Я. Шен, А. Ю, Р. Ян. // Порошковые технологии. 2019. Т. 353. С. 398-408 (на английском языке)
10. Худяков А. Оптимизация технологии брикетирования мелкозернистых металлургических материалов на основе статистических моделей сжимаемости. / А. Худяков, С. Ващенко, К. Баюл, Ю. Семенов, П. Крот. // Порошковые технологии. 2022. Т. 412. А. 118025. С.1-12 (на английском языке)

Information about the authors:

Zhdanov R.M., Bachelor of metallurgy, 2-nd category engineer technologist LTD «R&D Centre ERG» (Aktobe, Kazakhstan), Renat.Zhdanov@erg.kz; <https://orcid.org/0009-0009-8372-8227>

Almagambetov M.S., Candidate of technical sciences, head of metallurgy laboratory LTD «R&D Centre ERG» (Aktobe, Kazakhstan), Maral.Almagambetov@erg.kz; <https://orcid.org/0009-0005-5501-1385>

Ulmaganbetov N.A., Master of technical sciences, 1-st category engineer technologist LTD «R&D Centre ERG» (Aktobe, Kazakhstan), Nursultan.Ulmaganbetov@erg.kz; <https://orcid.org/0000-0003-4747-9381>

Laikhan S.A., Master of technical sciences, engineer technologist LTD «R&D Centre ERG» (Aktobe, Kazakhstan), Salamat.Laikhan@erg.kz; <https://orcid.org/0000-0001-6847-4075>

Авторлар туралы мәліметтер:

Жданов Р.М., металлургия бакалавры, ЖШС «ҒЗИО ERG» металлургия зертханасының 2 категориялық инженер-технологы (Ақтөбе қ., Қазақстан)

Алмагамбетов М.С., техника ғылымдарының кандидаты, ЖШС «ҒЗИО ERG» металлургия зертханасының басшысы (Ақтөбе қ., Қазақстан)

Улмаганбетов Н.А., металлургия магистрі, ЖШС «ҒЗИО ERG» металлургия зертханасының 1 категориялық инженер-технологы (Ақтөбе қ., Қазақстан)

Лайхан С.А., металлургия магистрі, ЖШС ERG «ҒЗИО ERG» металлургия зертханасының инженер-технологы (Ақтөбе қ., Қазақстан)

Информация об авторах:

Жданов Р.М., Бакалавр металлургии, инженер-технолог 2 категории лаборатории металлургии ТОО «НИИЦ ERG» (г. Актобе, Казахстан)

Алмагамбетов М.С., кандидат технических наук, начальник лаборатории металлургии ТОО «НИИЦ ERG» (г. Актобе, Казахстан)

Улмаганбетов Н.А., магистр металлургии, инженер-технолог 1 категории лаборатории металлургии ТОО «НИИЦ ERG» (г. Актобе, Казахстан)

Лайхан С.А., магистр металлургии, инженер-технолог лаборатории металлургии ТОО «НИИЦ ERG» (г. Актобе, Казахстан)

[XIX] МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕДР



Ufi
Approved
Event

Mining Week

KAZAKHSTAN '2024

25-27 [ИЮНЯ] 2024
КАРАГАНДА · КАЗАХСТАН

ТОО «TNT EXPO»

🌐 miningweek.kz

☎ +7 (727) 344 00 63

✉ mintek@tntexpo.com

📷 [mining.week.kazakhstan](https://www.instagram.com/mining.week.kazakhstan)



MININGWEEK.KZ

Код МРНТИ 86.40.00

Л.И. Раматуллаева¹, Ш.Қ. Шапалов¹, *Б.Т. Уахитова², Ж.К. Баймуханбетова¹¹AUEZOV UNIVERSITY (Ақтөбе қ., Қазақстан),²ZHUBANOV UNIVERSITY (Ақтөбе қ., Қазақстан)

МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ КӘСІПОРЫН МЫСАЛЫНДА ӨНДІРІСТІК ЖАРАҚАТТАНУДЫ ТАЛДАУ

Андатпа. Мақалада статистикалық әдісті қолдана отырып, талданатын кезеңдегі себептер бойынша оқиғалар санының өзгеру динамикасына талдау жасалды. Зерттеу нәтижесінде өндірістік жарақаттанудың негізгі көрсеткіштерінің өзгеру динамикасы мен сипаты анықталды. Негізгі факторлардан нәтижелі көрсеткіштің өзгеру динамикасы зерттелді, жиілік коэффициентінің өзгеруінің математикалық моделі, ауырлық коэффициенті және жалпы жарақаттану көрсеткішінің коэффициенті алынды. Зерттеу нәтижелерінің негізінде ұйымдастырушылық және техникалық іс-шараларды жақсарту бағытында кәсіпорында еңбекті қорғауды басқару жүйесін жетілдіру, сондай-ақ техникалық жұмыстарда, техникалық қызмет көрсету және жөндеу орындарында еңбекті қорғау талаптарын күшейту қажет деген қорытынды жасалды. Тікелей өндіріспен байланысты емес жұмыстардың басқа түрлеріне ерекше назар аудару керек. Жазатайым оқиғаларды неғұрлым егжей-тегжейлі талдау негізінде қарастыру және оқиғалардың санына әсер ететін факторларды зерттеу.

Түйінді сөздер: жарақаттану, жазатайым оқиға, еңбекті қорғау, зерттеу, жиілік коэффициенті, ауырлық коэффициенті, жарақаттану көрсеткішінің коэффициенті.

The analysis of industrial injury on the example of metallurgical enterprises

Abstract. In the article, using the statistical method, an analysis of the dynamics of changes in the number of incidents by reason for the analyzed period was carried out. As a result of the study, the dynamics and nature of changes in the main indicators of industrial injuries were established. The dynamics of changes in the effective indicator from the main factors were studied, a mathematical model of changes in the frequency coefficient, severity coefficient and coefficient of the general injury rate was obtained. Based on the results of the study, it was concluded that it is necessary to improve the occupational safety management system at the enterprise in the direction of improving organizational and technical measures, as well as strengthening occupational safety requirements for technical work, places of maintenance and repair. Particular attention should be paid to other types of work not directly related to production. Review accidents through more detailed analysis and study the factors influencing the number of accidents.

Key words: injury, accident, labor protection, research, frequency factor, severity factor, injury indicator coefficient.

Анализ производственного травматизма на примере металлургического предприятия

Аннотация. В статье используется статистический метод проведен анализ динамики изменения количества происшествий по причинам за анализируемый период. В результате исследования установлена динамика и характер изменения основных показателей производственного травматизма. Исследована динамика изменения результативного показателя от основных факторов, получена математическая модель изменения коэффициента частоты, коэффициент тяжести и коэффициент показателя общего травматизма. На основании результатов исследования сделан вывод, что необходимо совершенствование системы управления охраны труда на предприятии в направлении улучшения организационных и технических мероприятий, а также усиления требований охраны труда на технических работах, местах технического обслуживания и ремонта. Особое внимание следует уделить и другим видам работ, не связанным непосредственно с производством. Рассматривать несчастные случаи на основе более детального анализа и изучать факторы, влияющие на количество происшествий.

Ключевые слова: травматизм, несчастный случай, охрана труда, исследования, коэффициент частоты, коэффициент тяжести, коэффициент показателя травматизма.

Кіріспе

Металлургия өнеркәсібінде еңбек қауіпсіздігі мен қызметкерлердің денсаулығын қорғаудың нақты жүйесі сақталады. Жалпы металлургиялық кәсіпорындар қауіпсіз еңбек жағдайларын қамтамасыз ету тұрғысынан ең қауіпті болып табылады.

Ақтөбе ферроқорытпа зауытындағы жарақаттану деңгейі 2015 жылдан 2023 жылға дейінгі кезеңде талданды.

Осы кезеңде зауытта 28, оның ішінде 20 ауыр жағдай, 10 жеңіл жағдай және 1 топтық (3 зардап шеккен) жазатайым оқиға болды. Барлығы 30 адам зардап шекті. Осы кезеңдегі жазатайым оқиғалардың орташа саны жылына 3 жағдай шегінде болды. Ауыр және топтық жағдайлардың пайызы осы кезеңдегі жазатайым оқиғалардың жалпы санының 66,7% құрады, ал топтық пайыздар осы кезеңдегі зардап шеккендердің жалпы санының 10% құрады. 2019 жылы 1 топтық жағдай тіркелді [1].

Материалдар мен әдістер

Жазатайым оқиғаларды зерттеудің статистикалық әдісі кәсіпорында бірнеше жыл ішінде жинақталған статистикалық материалдарды талдауға негізделген. Бұл – статистикалық көрсеткіштерді одан әрі есептей отырып, жазатайым оқиғалар туралы мәліметтерді мақсатты түрде жинауға, жинақтауға және өңдеуге негізделген әдістер жиынтығы. Осы мақсатта жазатайым оқиғалар Н-1 нысанындағы актілер және нақты бір уақыт кезе-

ріндегі ұйымдардың өзге де есептері бойынша зерттеледі [2].

Бұл әдіс жарақат статистикасын және бірқатар өндіріс учаскелеріндегі, цехтардағы, ұйымдардағы немесе өнеркәсіп салалардағы жарақаттанудың ауырлығын анықтауға, сондай-ақ оның өсу немесе төмендеу заңдылықтарын табуға мүмкіндік береді

Құжаттама: есептер, актілер, тіркеу журналдары бойынша жарақаттануды талдауға негізделген.

Бұл жарақаттану жағдайларын нақты белгілері бойынша топтастыруға мүмкіндік береді: жәбірленушілердің кәсіптері; жұмыс орындары; шеберханалар; еңбек өтілі; жасы; жарақат алу себептері; жарақаттануға себеп болған жабдықтар.

Кәсіпорында өндірістік жарақаттануды талдаудың статистикалық әдісінде ұсынылған алынған мәліметтер бойынша қатаң есеп және салыстырмалы талдау жүргізіледі [3].

Кәсіпорын бойынша жарақаттану статистикасы жүргізілді және 2015-2023 жыл аралығындағы өндірістегі жазатайым оқиғалар санының бөлінуі 1-кестеде көрсетілген.

Нәтижелер

Жарақат деңгейін бағалау үшін келесі көрсеткіштерді 2021 ж мысалында есептейміз:

- 1-формула бойынша жарақаттану жиілігінің коэффициенті:

Кесме 1

2015-2023 жылдар кезеңінде өндірістегі жазатайым оқиғалар санының бөлінуін талдау

Table 1

Analysis of the distribution of the number of accidents at work for the period 2015-2023

Таблица 1

Анализ распределения количества несчастных случаев на производстве за период 2015-2023 годы

Көрсеткіштер	Көрсеткіштің жылдар бойынша мәні								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ұйымдарда жұмыс істейтіндердің саны, T , адам.	3872	3991	4236	4278	4402	4286	4250	4278	4255
Жазатайым оқиғалар саны, A	1	1	2	-	6	7	2	5	4
Зардап шеккендердің саны	1	1	2	-	8	7	2	5	4
Ауыр зардап шеккендердің саны	-	-	2	-	5	5	2	3	3
Жеңіл зардап шеккендердің саны	1	1	-	-	3	2	-	2	1
Топтық жазатайым оқиғалардан зардап шеккендердің саны	-	-	-	-	3	-	-	-	-
Еңбекке жарамсыздықтың күнтізбелік күндерінің саны, D	132	60	282	-	471	563	244	486	420
Жиілік коэффициенті, K_v	0,25	0,25	0,47	-	1,36	1,63	0,47	1,16	0,94
Ауырлық коэффициенті, K_m	132	60	141	-	78,5	80,4	122	97,5	105
Жалпы жарақат көрсеткіші, K_o	33	15	66,3	-	106,8	131	57,34	112,7	98,7

$$K_v = A \cdot 1000 / T, \quad (1)$$

K_v – жарақат алу жиілігінің коэффициенті;

A – есепті кезеңде кәсіпорында жарақат алу жағдайларының саны;

T – сол есепті кезеңде кәсіпорында жұмыс істегендердің орташа тізімдік саны;

$$K_v = 2 \cdot 1000 / 4250 = 0,47$$

- 2-формула бойынша жарақаттанудың ауырлық коэффициенті:

$$K_m = \frac{D}{A}, \quad (2)$$

мұндағы K_m – жарақаттанудың ауырлық коэффициенті;

D – жазатайым оқиға салдарынан жәбірленушілердің еңбекке жарамсыздық күндерінің саны (жұмыс күндерінде);

$$K_m = \frac{D}{A} = \frac{244}{2} = 122$$

- 3 және 4-формула бойынша жалпы жарақаттану көрсеткіші:

$$K_o = K_v \cdot K_m \text{ или } K_o = C \cdot 1000 / B$$

$$K_o = 0,47 \cdot 122 = 57,34.$$

Алынған мәліметтер негізінде кәсіпорында бақылау жүргізіледі және нәтижелер талданады, бұл өндірістік жа-

рақаттануды азайту үшін әзірленген шаралар бойынша нәтижелерді бақылауға және салыстыруға мүмкіндік береді, мұндай шаралар ұжымдық шарттардың бөлімдеріне немесе еңбекті қорғау жөніндегі келісімге енгізілуі мүмкін [4, 5].

Жарақат алу жиілігінің коэффициенті тиісті кезеңде (жартыжылдық, жыл) кәсіпорында жұмыс істегендердің орташа санының қанша жарақат алғанын, ал жарақаттанудың ауырлық коэффициенті – тиісті кезеңдегі жарақаттанудың бір жағдайына орташа есеппен қанша еңбекке жарамсыздық күн келетінін көрсетеді.

K_v , K_m және K_o коэффициенттері кәсіпорындағы жарақат статистикасын (5-10 жыл ішінде) зерттеуге, оны басқа кәсіпорындармен салыстыруға мүмкіндік береді.

Еңбек жағдайларын жан-жақты талдау негізінде кәсіпорын әкімшілігі мен еңбекті қорғау қызметі әртүрлі нұсқаулықтар жүргізеді, еңбек заңнамасының, қауіпсіздік нұсқаулары мен ережелерінің орындалуын бақылайды [6, 7].

1-суретте 2015 жылдан 2023 жылға дейінгі кезеңде Ақтөбе феррокорытпа зауытындағы жазатайым оқиғалардың таралу тәуелділігі келтірілген.

1-суретте зерттелетін кезеңдегі жазатайым оқиғалар санының тәуелділік графигі көрсетілген. Бұл тәуелділік көпмүшелік модель ретінде ұсынылған. Анализ этой модели показывает, что в 2018 году число несчастных случаев имел нулевой показатель, далее 2019, 2020 и 2022 гг. имеет тенденцию к повышению несчастных случаев и снижению в 2021 г. Бұл модельді талдау көрсеткендей, 2018 жылы жазатайым оқиғалардың саны нөлге тең болды, одан әрі 2019, 2020 және 2022 жж. жазатайым оқиғалардың көбею, 2021 ж азау үрдісі байқалады. Бұл тәуелділік 6-дәрежелі көпмүшемен ұсынылған және аппроксимация коэффициенті $R^2 = 0,8579$:



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

Figure 1. Dependence of the distribution of the number of accidents on the gas station for the period from 2015 to 2023.

Рис. 1. Зависимость распределения количества несчастных случаев на АЗФ период с 2015 по 2023 гг.

$$y = -0,0094x^6 + 114,4x^5 - 577400x^4 + 09x^3 + 12x^2 + 15x + 17.$$

Бұл тәуелділік ең кіші квадраттар әдісі бойынша Microsoft Excel бағдарламасын қолдану арқылы алынды. R^2 өте үлкен шама, 0,9-ға жуық, бұл жақсы аппроксимациялауды көрсетеді және қисық нүктелердің осы тәуелділік бойынша нақты таралуын дәл көрсетеді [8].

2015 жылдан 2016 жылдан бастап бір жазатайым оқиғадан болды, содан кейін 2017 жылдан бастап жазатайым оқиғалар саны екі жағдайға дейін өсті, ал 2018 жылы нөлдік көрсеткішке ие болды және 2019, 2020, 2022 жылдардан бастап жазатайым оқиғалардың жылына 6-7-5 жағдайға дейін өсуі байқалды. Ал 2021 жылы 2 жағдайға дейін, 2023 жылы 4-ке дейін төмендеді. Осы кезеңдегі жылдық жазатайым оқиғалардың орташа саны $A_{cp} = 3$ құрайды.

Осылайша, 2015-2023 жылдар аралығында есептей отырып, 2 және 3-суретте көрсетілген жиілік пен ауырлық бойынша өндірістегі жазатайым оқиғалардың санының бөліну кестесін жасауға болады.

Жиілік коэффициенті K_f бойынша тәуелділік (2-сурет) жазатайым оқиғалар санының бөліну тәуелділігіне өте ұқсас, жыл бойынша максимум мен минимумның шыңдары бірдей. Тәуелділіктің аппроксимациялау коэффициенті $R^2 = 0,8449$, бұл сипатталған жиілік коэффициентінің K_f зерттелетін кезең уақытына тәуелділігінің дұрыстығын көрсетеді. Зерттелетін кезең үшін жиілік коэффициентінің орташа мәні $K_{f.cp} = 0,72$ [9].



Сурет 2. Жиілік коэффициентінің $K_f(y)$ зерттеу уақытына $T(x)$ тәуелділік графигі.

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

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

3-суретте зерттелетін кезеңдегі ауырлық коэффициентінің K_t бөліну функциясының графигі көрсетілген. Бұл сыңған сызықтың аппроксимациясы аппроксимация коэффициентінің жуықтау $R^2 = 0,5$ шамасын береді, сондықтан бүкіл кезеңдегі K_t деректер нүктелерінің біркелкі еместігі туралы қорытынды жасауға болады. Жалпы, бұл функцияны бағалай отырып, 2015 және 2017 жылдардағы K_t -ның жалпы өсуін байқауға болады. Ауырлық коэффициентінің ең үлкен мәні 2017 жылы $K_m = 141$ және 2021 жылы $K_m = 122$ байқалды, зерттелетін кезең орташа мәні $K_{m.cp} = 87,9$.



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

Figure 3. Graph of the dependence of the K_t severity coefficient (y) on the study time $T(x)$

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



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

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

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

4-суретте 2015-2023 жж. бастап АФЗ-да жалпы жарақаттану көрсеткішінің K_o бөлінуі көрсетілген. Графикте белгіленген нүктелері бар сыңған сызықпен берілген нақты статистика 6-дәрежелі $y = -0,0758x^6 + 917,66x^5 + 06x^4 + 10x^3 + 13x^2 + 16x + 18$ көпмүшелігімен жақсы жуықталған, өйткені аппроксимация коэффициенті $R^2 = 0,8349$. Беталыс сипаты бойынша жалпы жарақаттанудың көрсеткіші осы кезеңдегі жазатайым оқиғалар санының осы кезеңдегі жиілік коэффициентінің өзгеруіне тәуелділігіне сәйкес келеді. Жалпы алғанда, ұсынылған кестеге сүйене отырып, K_o 2016 ж. ең төменгі мәнге ие, содан кейін 2017 ж. өсу, 2018 ж. жазатайым оқиғалардың нөлдік көрсеткіші және 2019 жылдан бастап мәндердің зигзаг тәріздес өсуі байқалады, 2016 ж. жалпы жарақаттану көрсеткіші 15-ке тең және

2017 ж. 66,3-ке дейін көтеріледі деп айтуға болады. 2020 жылы 131 (максималды мән) тең, 2021 ж. 57,4-ке дейін төмендейді. 2022 жылы 112,7 тең және 2023 жылы 98,7-ге дейін төмендеді. Зерттелетін кезеңдегі жалпы жарақаттану көрсеткішінің орташа мәні $K_{op} = 69$.

Талқылау

Берілген тәуелділіктерді талдау зерттелетін кезеңдегі жалпы жарақаттану көрсеткіштері, жиілік, ауырлық коэффициенттері келесідей өзгеретінін көрсетеді. Жарақаттану жиілік коэффициенті 0,25-тен 1,63-ке дейін өзгереді (2015 және 2020 ж.ж. $K_q = 0,25$ және $K_q = 1,63$, сәйкесінше). Зерттелетін кезеңдегі жарақаттанудың ауырлық коэффициенті 60-тан 141-ге дейін өзгереді және зерттелетін кезеңде екі экстремумға ие (2015 ж. $K_T = 132$, 2016 ж. $K_T = 60$, 2017 ж. $K_m = 141$ және 2021 $K_T = 122$). Жалпы жарақаттану көрсеткіші коэффициентінің мәні K_o осы кезеңде 15-тен 106,8-ге дейін ауытқиды (2016 ж. және 2020 ж. сәйкесінше $K_o = 15$ және $K_o = 131$, 2021 ж. $K_o = 57,4$). K_q , K_m және K_o динамикасын талдау көрсетілген факторлардың мәні жылдар бойынша айтарлықтай өзгеретінін және 2, 3, 4-суреттерде келтірілген мәліметтермен сипатталатынын көрсетеді. Жоғарыда келтірілген графиктерден зерттелетін факторларға сәйкес, соңғы жылдары K_q , K_m және K_o коэффициенттерінің мәндерінің айтарлықтай өзгеру деңгейімен олардың абсолютті мәндерінің өсу тенденциясы байқалады. Еңбекті қорғаудың қауіпсіз жағдайларын қамтамасыз ету үшін жүйені ұйымдастыру сапасын сипаттайтын коэффициенттердің мәндерін азайту бойынша кешенді шараларды жетілдіру қажет.

Қызметкерлердің жасының жарақаттану көрсеткіштеріне әсері зерттелді. Қызметкерлердің жасына және жұмыс өтіліне байланысты жарақаттану туралы ақпарат 1-кестеде және 5 пен 6-суреттерде келтірілген.

2015-2023 жылдар аралығындағы жұмыс өтілі бойынша жазатайым оқиғалардан зардап шеккендердің

санын бөлуге талдау жүргізу үшін 2-кестені толтырамыз.

Кестеде келтірілген деректерді талдаудан келесідей қорытындылауға болады. Қызметкерлердің ең көп саны, атап айтқанда 27% және 23,3% «40-49» және «30-34 жас» санаттарына жатады. Бұл жұмысшылар, жұмыс өтіліне қарамастан, жарақаттануға ең бейім. Жарақаттануға бейімділігі бойынша үшінші орында «22-24 жас» жас санатындағы қызметкерлер тұр, олар жалпы санның 16,66% құрайды. «50 жастан жоғары» және «25-29» 13,3% құрайды. 1 жылдан 3 жылға дейінгі (27%) жұмыс өтілі бар жұмысшылар арасында 20-24 жас санатындағылардың (8 жағдайдың 4-і) жарақаттану ықтималдығы жоғары, 13,5% құрайды. Сондай-ақ, жарақаттанудың жоғары бейімділігі 3-5 жыл және 5-9 жыл жұмыс өтілі бар қызметкерлер арасында байқалады, бұл әр санат үшін 23,3% құрайды.



Сурет 5. 2015-2023 ж.ж. кезеңінде зардап шеккендерді жасына қарай бөлудің гистограммасы.

Figure 5. Histogram of the distribution of victims by age for the period 2015-2023.

Рис. 5. Гистограмма распределения пострадавших по возрасту на в период 2015-2023 гг.

Кесте 2

2015-2023 жылдар кезеңінде жұмыс өтілі мен өндірістегі жасы бойынша жазатайым оқиғалардан зардап шеккендердің саны

Table 2

The number of victims of accidents by work experience and age at work for the period 2015-2023

Таблица 2

Количество пострадавших от несчастных случаев по стажу работы и возрасту на производстве за период 2015-2023 годы

Жас/еңбек өтілі	1 жылға дейін	1-3 жыл	3-5 жыл	6-9 жыл	10-20 жыл	20 жылдан көп	Жалпы саны
20-24	1	4					5
25-29			4				4
30-34	2	2	1	2			7
35-39				1	1		2
40-49	1	2	1	3	1		8
50 жастан жоғары			1	1	1	1	4
	4	8	7	7	3	1	30

Кесте 3

2012-2023 жылдар аралығында Ақтөбе ферроқорытпа зауытының цехтары бойынша жарақаттануды бөлу

Table 3

The distribution of injuries in the workshops of the Aktobe ferroalloy plant in the period from 2012 to 2023

Таблица 3

Распределение травматизма по цехам Актюбинского завода ферросплавов в период с 2012 по 2023 гг.

Зауыт цехтары	Барлығы									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
№1 БЦ						2		3	1	6
№2 БЦ					5			1		6
№4 БЦ			2		2	2	1			7
МЖЖЦ		1			1	2				4
ДӨЦ	1									1
ШДЦ							1			1
АКЦ						1				1
ҚҚӨЦ								1		1
БӨП									1	1
зертхана									1	1
ТЖЦ									1	1
Барлығы	1	1	2		8	7	2	5	4	30



Сурет 6. 2015-2023 жж. кезеңінде зардап шеккендерді еңбек өтілі бойынша бөлудің истограммасы.

Figure 6. Histogram of the distribution of victims by length of service of employees in the period 2015-2023.

Рис. 6. Гистограмма распределения пострадавших по стажу работников в период 2015-2023 гг.

3-кестеде цехтар бөлігіндегі жарақат туралы ақпарат бар. Ұсынылған деректердің негізінде осы уақыт кезеңінде ең жарақаттану қаупі бар цехтар: №4 БЦ – 7 жазатайым оқиға, №1 және №2 БЦ – 6 жазатайым оқиғадан және МЖЖЦ – 4 жағдай. 2015-2023 жылдар аралығында зауытта болған топтық сипаттағы бір жағдай да осы цехтарға (№2 БЦ) жатады.

Зерттеулер көрсеткендей, көрсеткіштер жауапты және күрделі жұмыс орындарында (кәсіптерде) үлкен маңызға

ие. Зерттеу нәтижелеріне сәйкес, ерекше факторға байланысты жарақат алған адамдарды қауіпті емес кәсіптер мен жұмыс орындарына ауыстыру ұсынылады [10].

Қорытынды

Осы зерттеудің нәтижелері бойынша көрсетілген факторларды соңғы көрсеткішке өзгертудің маңыздылығы туралы қорытынды жасауға болады. Бұл жағдайда ұйымдастырушылық және техникалық іс-шараларды жақсарту, сондай-ақ техникалық жұмыстарда, техникалық қызмет көрсету және жөндеу орындарында еңбекті қорғау талаптарын күшейту бағытында кәсіпорында еңбекті қорғауды басқару жүйесін жетілдіру қажет екені анық. Тікелей өндіріспен байланысты емес жұмыстардың басқа түрлеріне ерекше назар аудару керек. Жазатайым оқиғаларды неғұрлым егжей-тегжейлі талдау негізінде қарастыру және оқиғалардың санына әсер ететін факторларды зерттеу: мысалы, еңбекті ұйымдастыру элементтерін пайдалану, еңбекті ұйымдастыру негізінде жұмыс орнында еңбекті ұйымдастырудың озық әдістері және қауіпсіз еңбек құралдарын қолдану және т. б.

Еңбек жағдайларының қауіпсіздігіне әсер ететін маңызды факторларды, еңбек өнімділігінің төмендеуіне ғана емес, сонымен бірге жұмысшылардың жалпы жағдайына да әсер ететін жұмыс орнындағы нақты тапсырмаларды орындау кезіндегі эргономикалық көрсеткіштерді анықтау үшін жұмыс уақытын ұтымды пайдалану саласындағы тәжірибені жетілдіріп, кеңейткен жөн.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Имангазин М.К. Қазақстан Республикасының ферроқорытпа өндірісіндегі жарақаттарды талдау: LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrucken. Германия, 2014. Б. 373 (орыс тілінде)
2. Хакімжанов Т.Е. Еңбекті қорғау: Алматы: ОВЕРО, Қазақстан, 2008. Б. 255-258 (орыс тілінде)
3. Uakhitova Bagdagul. Ақтөбе ферроқорытпа зауытының балқыту цехтары қызметкерлерінің жарақаттануын талдау және психологиялық зерттеулер. // ҚР ҰҒА хабарлары, геология және технологиялық ғылымдар сериясы. 2022. Т. 2. №452. Б. 242-258 (ағылшын тілінде)
4. Лазаренков А.М. Еңбек қауіпсіздігі: Минск: БНТУ, 2011. Б. 204 (орыс тілінде).
5. Поletaев В.П., Крюковская О.А. Металлургиялық аймақтағы еңбекті қорғау: Украина: DSTU, 2015, Б. 149-153 (орыс тілінде).
6. Уахитова Б.Т. Тестілеудің статистикалық деректерін талдау. // «Жастар, ғылым және техника, жетілдіру және интеграциялау жолдары», Теміртау, 7-8 сәуір 2023. – Б. 198-202 (орыс тілінде)
7. Uakhitova Bagdagul. Ақтөбе облысының өнеркәсіп кәсіпорындары қызметкерлерінің өндірістік жарақаттануының жай-күйі туралы. // ҚР ҰҒА хабарлары, геология және технологиялық ғылымдар сериясы. 2021. Т. 5. Б. 170-175 бет (ағылшын тілінде)
8. 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)
9. Uakhitova Bagdagul. Металлургиялық кластердің өнеркәсіптік кәсіпорны мысалында өндірістік жарақаттану деңгейін талдау. // ҚР ҰҒА хабарлары, геология және технологиялық ғылымдар сериясы. 2022. №1. Б. 145-151 (ағылшын тілінде)
10. Панфилова Е.А. Тәуекел түсінігі: әртүрлі тәсілдер мен анықтамалар. // Қоғамдық дамудың теориясы мен тәжірибесі. 2010. №4. Б. 30-34 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Imangazin M.K. Analiz travmatizma na ferrosplavnom proizvodstve Respubliki Kazakhstan: Akademicheskoe izdatel'stvo LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrucken. Germaniya, 2014. S. 373 [Imangazin M.K. Analysis of injuries in ferroalloy production of the Republic of Kazakhstan: LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrucken. Deutschland, 2014. P. 373] (in Russian)
2. Khakimzhanov T.E. Okhrana truda: Almaty: OZERO, Kazakhstan, 2008. S 255-258 [Khakimzhanov T.E. Labor protection: Almaty: EVERO, Kazakhstan, 2008. P. 255-258] (in Russian)
3. Uakhitova Bagdagul. Analysis of injuries and psychological researches of workers in the melting shops of the aktubinsk ferraloys 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)
4. Lazarenkov A.M. Okhrana Truda: Minsk, BNTU, 2011. S. 204 [Lazarenkov A.M. Labor protection: Minsk: BNTU, 2011. P. 204] (in Russian)
5. Poletaev V.P., Kryukovskaya O.A. Okhrana truda v metallurgicheskoi zone: Ukraina: DSTU, 2015, S. 149-153 [Poletaev V.P., Kryukovskaya O.A. Labor protection in the metallurgical region: Ukraine: DDTU, 2015, P. 149-153] (in Russian)
6. Uakhitova B.T. Analiz statisticheskikh dannyykh testirovaniya. // Sbornik trudov LIII respublikanskoj nauchno-prakticheskoi konferentsii «Molodezh', nauka i tekhnika: puti sovershenstvovaniya i integratsii», Temirtau, 7-8 aprelya 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, 7-8 April 2023. – P. 198-202] (in Russian)
7. Uakhitova Bagdagul. On the state of industrial injuries of workers in industrial enterprises of the aktubinsk region. // News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, series of geology and technical sciences. 2021. №5. P. 170-175 (in English)
8. 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)
9. Uakhitova Bagdagul. Analysis of the level of industrial injuries on the example of an industrial enterprise of a metallurgical cluster. // Reports of NAS RK, geology and technological sciences series. 2022. №1. P. 145-151 (in English)
10. Panfilova E.A. Ponimanie kharaktera: mnozhestvennye podkhody i opredelenie. // Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya. 2010. №4. S. 30-34 [Panfilova E.A. Understanding character: Multiple approaches and definition. // Theory and practice of social development. 2010. №4. P. 30-34] (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Имангазин М.К. Анализ травматизма на ферросплавном производстве Республики Казахстан: Академическое издательство LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken. Германия, 2014. С. 373 (на русском языке)
2. Хакимжанов Т.Е. Охрана труда: Алматы: ОВЕРО, Казахстан, 2008. С 255-258 (на русском языке)
3. 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)
4. Лазаренков А.М. Охрана Труда: Минск, БНТУ, 2011. С. 204 (на русском языке)
5. Полетаев В.П., Крюковская О.А. Охрана труда в металлургической зоне: Украина: ДСТУ, 2015, С. 149-153 (на русском языке)
6. Уахитова Б.Т. Анализ статистических данных тестирования. // Сборник трудов ЛПП республиканской научно-практической конференции «Молодежь, наука и техника: пути совершенствования и интеграции», Темиртау, 7-8 апреля 2023. – С.198-202 (на русском языке)
7. Uakhitova Bagdagul. В состоянии производственного травматизма работников промышленных предприятий Актюбинской области. // Известия НАН РК. Серия геологических и технических наук. 2021. Т. 5. С. 170-175 (на английском языке)
8. 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)
9. Uakhitova Bagdagul. Анализ уровня производственного травматизма на примере промышленного предприятия металлургического кластера. // Известия НАН РК, серия геологических и технических наук. 2022. №1. С. 145-151 (на английском языке)
10. Панфилова Э.А. Понимание характера: множественные подходы и определение. // Теория и практика общественного развития. 2010. №4. С. 30-34 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

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

Шапалов Ш.К., М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің КеАҚ «Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау» кафедрасының асоц. профессоры, PhD-доктор, (Шымкент қ., Қазақстан), shermahan_1984@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3015-5965>

Уахитова Б.Т., Қ. Жубанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінің «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасының аға оқытушысы, PhD-доктор (Ақтөбе қ., Қазақстан), Uakhitova_BT@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1156-8809>

Баймуханбетова Ж.К., М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің КеАҚ «Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау» кафедрасының магистранты (Шымкент қ., Қазақстан) b.zhasi_96@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-3750-8024>

Information about authors:

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

Shapalov Sh.K., PhD-doctor, asoc. Professor of the Department of «Life Safety and Environmental Protection» of the NAO of the M. Aueyev South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan)

Uakhitova B.T., PhD-doctor, senior lecturer in Metallurgy and Mining at the Aktobe Regional University named after K. Zhubanov (Aktobe, Kazakhstan)

Baymukhanbetova Zh.K., master of the Department of «Life Safety and Environmental Protection» of the NAO of the South Kazakhstan University named after M. Aueyev (Shymkent, Kazakhstan)

Информация об авторах:

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

Шапалов Ш.К., PhD-доктор, асоц. профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защиты окружающей среды» НАО Южно-Казахстанского университета им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан)

Уахитова Б.Т., ст. Преподаватель, PhD-доктор, кафедра «Металлургия и горное дело» НАО Актюбинского Регионального университета им. К. Жубанова (г. Ақтөбе, Қазақстан)

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

Код МРНТИ 86.40.00

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

ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ ҚОРҒАУ ҮШІН АЭРОЗОЛЬ БӨЛШЕКТЕРІН ҰСТАУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Аннотация. Бұл мақалада газ-дисперсті қатты материалдар жүйесінде процестерді жүргізу үшін агрегаттарды экологиялық жаңғырту мәселелері ашылады және барабанды кептіру агрегатындағы аэрозоль ағынын бөлудің ғылыми негіздері қарастырылады. Тегіс және цилиндр тәрізді арналарда аэрозоль ағыны бөлшектерінің турбулентті-инерциялық тұндыруын бағалау көрсетілген. Тегіс және цилиндрлік беттерде аэрозоль ағынының динамикалық жылдамдығы анықталды. Аэрозоль ағынын бөлу тиімділігін бағалаудың энергетикалық тәсілі қарастырылды. Барабанды кептіргіште аэрозоль ағынының бөлшектерін бөлу тиімділігін бағалау ұсынылған. Келтірілген зерттеулер кептіру агрегаттарының жұмысын оңтайландыруға және олардың өнімділігін арттыруға арналған жаңа тәсілдер мен әдістерді ұсынады. Олар газдисперсиялы қатты материалдарды өңдеу технологияларын әрі қарай дамытуға қажетті маңызды деректерді ұсынады, бұл қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуға ықпал етеді.

Түйінді сөздер: турбуленттілік, инерция, тұндыру, бөлшектер, аэрозоль ағыны, тегіс және цилиндрлік бет.

Optimizing the capture of aerosol particles to protect the environment

Abstract. This article reveals the problems of environmental modernization of aggregates for conducting processes in a system of gas – dispersed solid materials and considers the scientific basis for the separation of aerosol flow in a drum drying aggregate. Evaluation of turbulent-inertial deposition of aerosol flow particles in smooth and cylindrical channels is shown. On smooth and cylindrical surfaces, the dynamic speed of the aerosol flow is determined. An energy approach to assessing the efficiency of aerosol flow distribution was considered. It is proposed to evaluate the efficiency of separation of Aerosol Jet particles in a drum dryer. The cited studies suggest new approaches and methods for optimizing the operation of drying aggregates and increasing their productivity. They provide important data necessary for the further development of technologies for processing gasdispersed solid materials, which will contribute to reducing the negative impact on the environment.

Key words: turbulence, inertia, deposition, particles, aerosol flow, smooth and cylindrical surface.

Оптимизация улавливания аэрозольных частиц для защиты окружающей среды

Аннотация. В данной статье раскрываются вопросы экологической модернизации агрегатов для проведения процессов в системе газодисперсных твердых материалов и рассматриваются научные основы распределения аэрозольного потока в барабанном сушильном агрегате. Показана оценка турбулентно-инерционного осаждения частиц аэрозольного потока в гладких и цилиндрических каналах. Определена динамическая скорость потока аэрозоля на гладких и цилиндрических поверхностях. Рассмотрен энергетический подход к оценке эффективности распределения аэрозольного потока. Предложена оценка эффективности разделения частиц аэрозольного потока в барабанной сушилке. Приведенные исследования предлагают новые подходы и методы оптимизации работы сушильных агрегатов и повышения их производительности. Они предоставляют важные данные, необходимые для дальнейшего развития технологий переработки твердых газодисперсных материалов, что способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: турбулентность, инерция, осаждение, частицы, аэрозольный поток, гладкая и цилиндрическая поверхность.

Кіріспе

Өздеріңіз білетіндей, химиялық және мұнай-химия өнімдерінің өзіндік құнының құрылымында шикізат пен материалдардың үлес салмағы шамамен 40% құрайды, ал энергия ресурстарының үлесі шамамен 20% құрайды және жыл сайын артып келеді. Айта кету керек, Қазақстанда осындай өндірістерге энергия тұтыну шетелдік тұтынудан 30-70%-ға асады, сондықтан қондырғыларды энергия үнемдейтін жаңғырту міндеттері ерекше өзекті болып табылады және олар көбінесе экологиялық міндеттерді шешумен ұштасады [1].

Алайда, технологиялық аппараттарды немесе агрегаттарды жобалау кезінде мыналар ескерілмейді:

- 1) ең аз шаңсорғыштың талаптарын ескере отырып, аппараттарды құрастыру мүмкіндігі;
- 2) өзара әрекеттесетін ағындардың экологиялық ұтымды жылдамдықтарын таңдау;
- 3) осы қажетсіз процестің басында шаңды басу немесе шаңның азаюы.

Қазір Қазақстанның химия, мұнай-газ өңдеу, мұнай-химия, тау-кен, агроөнеркәсіп және тамақ салаларының қолданыстағы аппараттары мен агрегаттарын қайта құру мүмкін емес:

- салалық машина жасаудың өнеркәсіптік базасы жоқ;
- Қазақстан экономикасының түрлі салаларында технологиялық және экологиялық техниканы қайта құру үлкен күрделі шығындармен ұштасады.

Сондықтан аталған проблемаларды шешудегі ең үнемді және экологиялық негізделген тәсіл кез келген өндірістің

агрегаттарын (аппараттарын) экологиялық жаңғырту болып табылады. Жоғарыда айтылғандар кез келген бетке аэрозоль бөлшектерінің тұндыру процестерін түбегейлі зерттеуді қажет етеді.

Материалдар мен әдістер

Технологиялық құрылғыдан шаңды кетірудің жарқын мысалы-кептіргіш-барабан аппараты, онда материал бөлшектерінің дисперсиясы мен тығыздығына сүйене отырып, барабанның қимасы бойынша газдардың жылдамдығы таңдалады. Есептеу үшін барабандағы газдың орташа жылдамдығының келесі мәндерін қабылдауға болады (м/с) (1-кесте).

1-кестеден көріп отырғанымыздай, барабандағы газдың жылдамдығын таңдау кезінде аппараттың өзінде шаң бөлшектерінің тұндырылуын және оларды қосалқы құрылғыларда (түсіру камерасында, шаң түсіретін камераларда немесе шаң ұстайтын аппараттарда) ұстау тиімділігін ескеретін факторлар келтірілмеген.

Технологиялық қондырғыларда аэрозольдер газ ағынының айқын турбулентті режимі орын алатын айтарлықтай жылдамдықпен аппараттар арқылы қозғалады. Бұл режим ламинарлық ағымнан бойлық және басқа бағыттардағы жылдамдықтың кездейсоқ хаотикалық пульсацияларының болуымен, газдың қарапайым көлемдерінің бір-бірімен араласуымен және нәтижесінде газдың неғұрлым қарқынды диффузиясымен және оның жылдамдығының қабырғаларда күрт төмендеуімен ерекшеленеді.

Кесте 1

Барабандағы газ жылдамдығының бөлшектердің тығыздығы мен мөлшеріне тәуелділігі

Table 1

Dependence of gas velocity in the drum on density and particle size

Таблица 1

Зависимость скорости газа в барабане от плотности и размера частиц

Бөлшектердің мөлшері, мм	Материалдың тығыздығы, кг/м ³				
	350	1000	1400	1800	2200
Газ жылдамдығы, м/с					
0,3-2,0	0,5-1,0	2,0-5,0	3,0-7,5	4,0-8,0	5,0-10,0
2,0-ден жоғары	1,0-3,0	3,0-5,0	4,0-8,0	6,0-10,0	7,0-12,0

Аппарат арналарындағы газ ағынының жоғары қозғалыс жылдамдығында бөлшектердің турбулентті диффузия коэффициенті броундық диффузия коэффициентінен едәуір асып түседі, сондықтан турбулентті тұндыру негізгі механизм болып табылады. Құбырлардың қабырғасына (немесе сұйықтық пленкасына) бөлшектердің турбулентті тұндыруының әртүрлі теориялық модельдері белгілі:

1) инерциялық. Бұл модельге сәйкес, тұндыру бетімен шекарада құйынды ағындардан бөлшектердің еркін инерциялық шығарылуы орын алады деп саналады;

2) тұндыру процесін шекаралық қабатқа ірі масштабты құйындар енген кездегі инерциялық әсерлермен байланыстыратын конвективті-инерциялық;

3) қабырға аймағында бөлшектердің турбулентті диффузия коэффициенті басқаларға қарағанда жоғары деген болжамнан туындайтын диффузиялық;

4) газ жылдамдығының пульсациялық көлденең құрамдас бөлігінің амплитудасы градиентінің салдары ретінде бөлшектердің канал қабырғасына турбулентті миграциясы ескерілетін турбулентті-диффузиялық.

Аэрозольді (тұманды) тұндырудың барлық дерлік механизмдері таза түрде жүзеге асырылмайды және негізінен ДН бөлшектерінің мөлшеріне байланысты. Мысалы, таза инерциялық тасымалдау ДН>5-10 мкм, ал диффузиялық ДН<1-2 мкм кезінде орын алады.

Өндіріс шаңы субмикроннан (0,1 мкм-ден аз) үлкенге (>100 мкм) дейін полидисперсті екенін ескере отырып, шаңды ұстаудың тиімділігін есептеу кезінде барлық төрт тұндыру моделін ескеру қажет.

Нәтижелер

Газдарды ұсақ дисперсті фазадан тазарту кезінде турбулентті-инерциялық механизм өте маңызды. Бұл жағдайда барлық бөлшектер қабырғаға инерциялық жүгіріс ұзындығында тұндырылады деп болжанады [2]:

$$l_{\text{ч}} = \frac{u_{\text{ч}} d_{\text{ч}}^2 \rho_{\text{ч}}}{18\mu_{\text{г}}}, \quad (1)$$

$u_{\text{ч}}$ – тасымалдаушы (газ) ағынының жылдамдығына тең инженерлік есептеулерде қабылданатын бөлшектердің көші-қон жылдамдығы, м/с $W_{\text{з}}$;

$d_{\text{ч}}$ – аэрозоль бөлшектерінің диаметрі (тұман), мм;

$\rho_{\text{ч}}$ – материалдың тығыздығы бөлшектер, кг/м³;

$\mu_{\text{г}}$ – тасымалдаушы ағынның динамикалық тұтқырлық коэффициенті, Па·с.

Айта кету керек, ағынның ядросында бөлшектердің көлденең бағытта қозғалуы турбулентті пульсацияларға байланысты, ал қабырғаға жақын жерде – шекаралық қабаттағы әлсіреген турбулентті пульсациялардың әсерінен инерциялық механизммен жүреді.

Қысқа құбырлардағы ағынның турбулентті қозғалысы кезінде жауын-шашынның орташа жылдамдығы ұзын құбырларға қарағанда айтарлықтай төмен, бұл кіріс тұрақсыз аймақтың әсеріне байланысты. Бөлшектердің турбулентті тұндыру тиімділігі тұндыру бетінің күйіне (кедір-бұдырлық, сұйықтық пленкасының болуы және т.б.) байланысты. Құрғақ бетінде бөлшектер 5 мкм-ден аспайды, ал 20-50 мкм-ге дейін жақсы суланған.

Бөлшектердің арна қабырғасына (пленкасына) бөліну қарқындылығын шамамен бағалау үшін турбулентті араластыру нәтижесінде дисперсті фазаның қабырғалардан алыс (шекаралық қабаттан тыс) концентрациясы тек турбулентті миграция мен диффузиямен анықталатыны қабылданады:

$$u_{\text{т}}^+ = \frac{u_{\text{т}}}{u_*}, \quad (2)$$

u_* – турбулентті пульсациялардың орташа квадраттық жылдамдығы. Инженерлік есептеулерде $u_* \approx 0,9u_{\text{т}}$.

Аэрозоль ағыны әртүрлі арналар арқылы қозғалған кезде олардың бетінде әртүрлі механизмдердің арқасында дисперсті фаза бөлінеді.

Турбулентті ағындағы инерциясыз дисперсті бөлшектерге турбулентті-диффузиялық көші-қон әсері әсер етеді. Инерциялық дисперсті бөлшектерге сұйықтық ток желілері әсер етпейді, олар қоршаған ортаның турбулентті пульсацияларына тәуелді емес, сондықтан олардың қозғалысын түзу деп санауға болады. Арналардың бетіндегі инерциялық дисперсті бөлшектің тұндыру тиімділігі негізінен олардың геометриялық өлшемдерімен анықталады. Әлсіз инерциялық дисперсті бөлшектерді екі бөлікке бөлуге болады. Біріншісі-релаксация кезінде саптаманың бетіне жетіп, оған қонуға үлгеретін бөлшектер. Екіншісі-газ ағынының әсеріне ұшыраған бөлшектер, олар тұндыру бетіне жақындаған кезде оған қонуға үлгермейді.

Газ ағынындағы бөлшектердің қозғалыс траекториясын жалпы кездейсоқ жол ретінде қарастыруға болатыны белгілі, өйткені қозғалыс процесінде оған бірнеше факторлар әсер етеді, олардың кейбіреулері кездейсоқ.

Кезінде саптаманың бетіне түскен бөлшектердің саны ДТ дисперсті бөлшектері бар газ ағыны $dz = u_{\text{ср}} dt$ жолынан өтеді және осылайша бөлшектердің концентрациясы шамаға өзгереді dn .

$$dN = -V_{\text{г}} dn dt = -u_{\text{ср}} S dn dt, \quad (3)$$

$V_{\text{г}}$ – газдың көлемдік шығыны, м³/с;

$u_{\text{ср}}$ – көлденең қимасы бар арнадағы газдың орташа жылдамдығы (м/с) S , м².

Дт кезінде тұндыру беттеріне одан $dz = utdt$ аспайтын қашықтықта орналасқан бөлшектер ғана қол жеткізе алады, яғни dz учаскесінде конустың dV көлеміндегі барлық бөлшектер қабырғаға биіктігі бойынша түседі $2dz$:

$$dN = ndV = n2\pi Rdrdz u_t dt^2 \quad (4)$$

Содан кейін мынаны ескере отырып $V_r = u_{cp} \pi R^2$, алуға болады:

$$\frac{dn}{n} = -\frac{2u_t}{R} dt = -\frac{4u_t}{d} dt. \quad (5)$$

$d = 2R$ – арна диаметрі, м.

$T = 0$ -ден $t = L/ISR$ аралығындағы $t = 0$ -де $n = N0$ бастапқы шартымен (5) теңдеулерді біріктіре отырып, біз l қашықтықтағы газ ағынындағы бөлшектердің сандық концентрациясын анықтау үшін өрнек аламыз:

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{4}{du_{cp}} \int_0^l u_t dz\right), \quad (6)$$

немесе $u_t = const$

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{4lu_t}{du_{cp}}\right) \approx n_0 \exp\left(-\frac{4u_t}{d} t_{cp}\right), \quad (7)$$

$t_{cp} \approx l/u_{cp}$ – орташа болу уақыты.

Тұндырылған бөлшектердің үлесін немесе әлсіз инерциялық бөлшектерді бөлу тиімділігін турбулентті тұндыру тиімділігінің шамасымен көрсетуге болады

$$n_t = \frac{n_0 - n}{n_0} = 1 - \exp\left(-\frac{4lu_t}{du_{cp}}\right), \quad (8)$$

n_0 – бөлшектердің бастапқы концентрациясы, $1/m^3$;

d – арнаның диаметрі немесе оның эквивалентті диаметрі d_e , м;

l – арнаның ұзындығы, м.

Бөлу тиімділігінің арна ұзындығына тәуелділігі пластиналық шаң жинағыштардың, электрофилтрлердің, инерциялық және центрифугалық сепараторлардың, Вентури скрубберлерінің және басқа құрылғылардың тиімділігін есептеу үшін пайдаланылуы мүмкін. Алынған өрнектер дымқыл шаң жинаудың энергетикалық теориясына және эксперименттік зерттеулердің нәтижелеріне жақсы сәйкес келеді.

Талқылау

Кез-келген қондырғыда немесе аппаратта болатын жылу және масса алмасу процестерін математикалық модельдеу кезінде өзара әрекеттесетін ағындардың динамикалық жылдамдығына байланысты шекаралық (турбулентті немесе диффузиялық) қабаттың қалыңдығынан бастау керек.

Диффузиялық массаны тасымалдау және аэрозольдің (тұманның) ұсақ бөлшектерінің диффузиялық тұндыру ұқсастығынан бұл мәселе шаң жинаудың тиімділігін бағалау кезінде де маңызды екендігі шығады.

Өкінішке орай, аэрозоль ағынын бөлу проблемасына тиісті көңіл бөлінбеді. Сондықтан аэрозоль ағынының қозғалысы мен бөлінуінің көптеген мәселелері тиісті іргелі шешімсіз қалды.

Әдетте тегіс немесе құбырлы элементтерден тұратын әртүрлі конструкциялардың жанасу аймағындағы шекаралық қабаттың сипаттамаларын бағалау кезінде динамикалық жылдамдық есептелетін жерлердің тангенс кернеуінің орташа мәнін анықтау қажет $u_* = \sqrt{\tau/\rho}$:

$$u_* = W_0 \sqrt{C_m/2}, u_* = W_0 \sqrt{\xi/8}, \quad (9)$$

W_0 – арналардағы ағынның немесе ағынның жылдамдығы, м/с;

C_m – тегіс бет бойымен ағынның қозғалысы кезіндегі үйкеліс коэффициенті;

ξ – кедергіні айналып өту кезіндегі кедергі коэффициенті.

Егер St немесе st белгісіз болса, динамикалық жылдамдық көлем бірлігінде орташа диссипацияланатын энергияны пайдалану арқылы анықталады:

$$\varepsilon = \mu \left\{ 2 \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v_y}{\partial y} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v_{yz}}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right)^2 \right\}. \quad (10)$$

Алайда, (10) теңдеу айтарлықтай қиындықтарға байланысты қолданбалы есептеулер үшін жарамсыз. Неғұрлым жеңілдетілген, тұтқырлыққа байланысты ортада және du/du жылдамдық градиентінде энергияның диссипация жылдамдығын келесідей көрсетуге болады:

$$\varepsilon = \mu \left(\frac{du}{dy} \right)^2. \quad (11)$$

Жазу негізінде:

$$u_* = K \left(\frac{\varepsilon \nu}{\rho} \right)^{1/4}, \quad (12)$$

пропорционалдылық коэффициенті k құрылғының әр түрі үшін эксперименталды болып табылады және $K = 1,6-2,9$ аралығында орнатылады. Көптеген құрылғылар үшін қабылдау ұсынылады $K \approx 2,2$.

Осы тәсілге сүйене отырып, әртүрлі формадағы арналарда газдың қозғалысы кезінде дисперсті фазаның болуын ескере отырып, динамикалық жылдамдықтың мәнін анықтауға болады.

Белгілі [3, 4, 5] турбулентті шекара қабаты, кез-келген тұрақты статистикалық жүйе сияқты, кейбір консервативті қасиеттерге ие. Жұқа қабырға аймағының турбулентті ағындарында жылдамдық профилі логарифмдік заңмен сипатталады және қысым градиентіне әлсіз тәуелді. Турбулентті шекаралық қабаттың сыртқы аймағында жылдамдықтың таралуына ($\approx 0,668$) қысым градиенті айтарлықтай әсер етеді.

Қысым градиенттері бар турбулентті шекара қабатын есептеу әдіснамасының жалпы ерекшеліктері шекара қабатының тән қалыңдығы ретінде импульсті жоғалту қалыңдығын пайдалану болып табылады. Қысым градиентіне қатты тәуелді жылдамдық профилін сипаттау үшін әртүрлі параметрлер енгізіледі. Импульстің жоғалу қалыңдығы импульстік теореманың көмегімен есептеледі, мұнда қабырғадағы тангенс кернеуі бойлық жеңілдетілген пластина үшін қарсылық Заңын қолдана отырып анық-

талады. Өртүрлі пішіндегі денелердің үйкеліс кедергісін есептеу кезінде қолданылатын мұндай әдістер қанағаттанарлық нәтиже береді [3].

Газ динамикасында үйкеліс кедергісін және өртүрлі беткей қисықтығы бар денелердің жылу алмасуын есептеу үшін тиімді ұзындық әдісі қолданылды [6, 7]. Бұл жағдайда жеңілдетілген беттің қисаюынан туындаған қысым градиентінің әсері градиентті және градиентсіз шекаралық қабаттардың энергия шығыны қалыңдығының теңдігі орындалған жағдайда тиімді ұзындықты таңдау арқылы ескеріледі. Қысым градиенті бар шекаралық қабаттың белгілі тиімді ұзындығымен олар тегіс пластинаның тиісті формулаларын қолдана отырып есептеледі. Динамикалық жылдамдықтың орташа мәнін анықтаудың теориялық негізі ретінде тегіс шекаралық қабаттың математикалық модельдерін бұзылуларсыз қолдануға болады (мысалы, Прандтль, қалта, Ландау-Левич модельдері) және әр түрлі бұзылулардың әсерін (қысым градиенті, беттің кедір-бұдырлығы, дисперсті фазаның болуы) фазааралық бетке жазылған импульс тепе-теңдігінің интегралды қатынасын қолдана отырып қарастыруға болады. процесті физикалық модельдеу нәтижелерін қолдануға негізделген [12].

Динамикалық жылдамдықты есептеу үшін теңдеуді алу үшін газ ағынында аэрозольдердің болуын ескере отырып, әр түрлі формадағы арналарда біз шекаралық қабаттың консервативті қасиеттерін қолданамыз, ал аэрозольдер мен басқа да бұзылулардың әсерін импульс балансын қанағаттандыру арқылы параметрлік түрде ескереміз.

Турбулентті шекара қабатындағы импульс ағыны белгілі формада жазылады:

$$\tau = \rho(v + v_m) \frac{du}{dy} \quad (13)$$

тұтқыр ішкі қабаттағы турбулентті алмасу коэффициенті үшін өртүрлі қуат функциялары қолданылады, ал одан тыс сызықтық функциялар қолданылады. Мысалы, prandtl моделіне сәйкес түр функциясы:

$$v_m = \chi u_* y - v, \quad (14)$$

$\chi = 0,4$ – Прандтль тұрақтысы.

Содан кейін, алуға болады:

$$\frac{du}{dy} = \frac{u_*}{\chi y} \quad (15)$$

Бұл өрнектің интеграциясы шекаралық қабаттың турбулентті аймағында жылдамдық профилінің логарифмдік таралуын береді.

Турбулентті шекара қабатындағы тангенс кернеуін пульсациялық жылдамдықтардың құрамдас бөліктерінің орташа мәндері арқылы көрсетуге болады v' и u' :

$$\tau = \rho u' v'. \quad (16)$$

Содан кейін энергия ағынының орташа тығыздығы келесідей болады:

$$\varepsilon = \rho u u' v' = u \tau. \quad (17)$$

Энергияның диссипациясына байланысты бұл ағын жер бетіне жақындаған сайын азаяды. Туынды орта көлемінің бірлігінде энергияның диссипациясын береді:

$$\varepsilon = \frac{de}{dy} = \tau. \quad (18)$$

Егер туынды мән болса $\frac{du}{dy}$ (15) түрінде жазылған (18)

өрнекте мынаны аламыз:

$$\varepsilon = \frac{\rho_\tau}{\rho_\tau} \left(\frac{\tau}{\rho_\tau} \right)^{2/3} = \frac{\rho_\tau u_*^3}{\rho_\tau}. \quad (19)$$

Әлбетте, белгілі бір мәнмен $y = \delta$, энергияның жергілікті диссипациясы орташа көлемдік диссипациямен сәйкес келеді, яғни $\varepsilon = \bar{\varepsilon}$ кезінде и $y = \delta$.

Тұтқыр ішкі қабаттағы сызықтық жылдамдық профилін және негізгі ағындағы логарифмдік үлестіруді ескере отырып, импульс ағынының тұрақтылығын және оның қабырғадағы импульс ағынының теңдігін болжайтын екі қабатты прандтль қабырғалық турбуленттілік моделін қабылдайық. Содан кейін динамикалық жылдамдық $y = \delta$, пайда болады:

$$u_* = \left(\frac{\varepsilon x \delta_0}{\rho_\tau} \right)^{1/3}, \quad (20)$$

(20) өрнегінде негізгі параметрлер энергияның диссипациясы және қабаттың тиімді қалыңдығы болып табылады. э. энергияның орташа диссипациясын дисперсті фазаның болуын ескере отырып эксперименталды түрде алынған арналардағы қысым айырмашылығын қолдана отырып табымыз. Тиімді шекаралық қабаттың орташа қалыңдығын импульс балансының теңдеуі негізінде аламыз.

(20) өрнектегі энергияның орташа диссипациясын қысымның жоғалуы арқылы жазамыз:

$$\varepsilon = \frac{\Delta P S W_{cp}}{V_0}, \quad (21)$$

ΔP – қысымның жоғалуы, Па;

S – байланыс аймағы арнасының ауданы, м²;

V_0 – қозғалмалы ағын алатын байланыс аймағының көлемі, м³.

Осылайша, ұсақ бөлшектердің диффузиялық тұндыру механизмін қанағаттанарлық сипаттайтын тегіс немесе цилиндрлік беттегі аэрозоль ағындарының динамикалық жылдамдығын бағалауға қарапайым аналитикалық тәсіл ұсынылады.

Газ-ауа ағынында бөлу процестері мен аппараттарын есептеу әдістерін әзірлеу жылу және масса алмасу процестерін жүргізу үшін технологиялық маңызы бар агрегаттардың да, шанды ұстауға арналған экологиялық техниканың да тиімділігін есептеу кезінде айтарлықтай маңызға ие. Бұл мәселенің іргелі негіздері елді мекендердің, кәсіпорындардың және автокөлік құралдарының ауа бассейнін ластаудың стационарлық және жылжымалы көздерінен бөлінетін шаң бөлшектерінің тұнбасын бағалау кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Шаң жинау процесінің тиімділігі көбінесе энергия шығындарымен анықталатыны анықталды. Өткен ғасырдың екінші жартысында шаң жинағыштың тиімділігі қысымның жоғалуына айтарлықтай тәуелді екендігі анықталды. Газдарды тазарту дәрежесі мен энергия шығындары арасындағы байланысты келесідей көрсетуге болады [9, 10, 11]:

$$n = 1 - \exp(-A\varepsilon^k), \quad (22)$$

ε – аэрозоль немесе тұман бөлшектерін тұндыруға жұмсалатын энергия шығыны, Дж/м³;

A и k – шаңның дисперсті құрамымен анықталатын эмпирикалық тұрақтылар.

Қолданыстағы барлық дерлік технологиялық процестер мөлшері 0,1-10 мкм болатын ұсақ суспензиялы бөлшектерден тұратын аэрозольдердің пайда болу көздері болып табылады, оларды ұстау энергияны едәуір тұтынумен байланысты.

Жылу және масса алмасу процестеріне ұқсас, энергетикалық әдіс бойынша тазарту дәрежесін тасымалдау бірліктерінің санымен байланыстыруға болады N :

$$n = 1 - \exp(-N), \quad (23)$$

Жүргізілген бағалау есептеулері 2-кестеде келтірілген.

Әдеби деректерді өңдеу [2, 8-12] мәнін анықтауға мүмкіндік береді A және K байланысты:

$$N = A\varepsilon^k, \quad (24)$$

$A = 5,5 \cdot 10^{-5}$, $k = 1,2$ әк сублиматтары үшін, $A = 1,3 \cdot 10^{-2}$, $k = 0,6$ фосфор қышқылының тұманына арналған, $A = 2 \cdot 10^{-4}$, $k = 1,0$ мыс сульфаты шаңы үшін.

Газды тазарту тиімділігін есептеуде энергетикалық әдісті қолданған кезде дисперсті фазаны ұстауға тікелей жұмсалатын энергияның үлесін сенімді түрде анықтау қажет. Есептеу кезінде жергілікті қарсылықтарға энергия шығынын болдырмау керек. Мәселен, мысалы, Вентури құбырлары бар газ жуғыштарды айтарлықтай қателіксіз есептеу кезінде барлық энергия газды тазартуға жұмсалады деп қабылдауға болады. Көбік қабаты бар құрылғылар үшін құрғақ пластинаның кедергісін болдырмай, тек газ-сұйық қабаттың гидравликалық кедергісін ескеру қажет.

Шаңды ұстау процесін сипаттау үшін біз дамыған фазааралық бетті құруға газ-сұйықтық ағынының энергия

шығындарын анықтауға негізделген энергетикалық тәсілді ұсынамыз. Параметрдің энергиясын есептеу тендеу бойынша жүзеге асырылады:

$$\varepsilon = \frac{\Delta P_L - \Delta P_c}{\Delta P_L}, \quad (25)$$

ΔP_c , ΔP_L – құрғақ және суармалы байланыс аймағының гидравликалық кедергісі, Па.

Өрнектерді ауыстыру ΔP_c , ΔP_L және бұл тендеуді түрлендіре отырып, біз аламыз:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\xi_c}{\xi_L}, \quad (26)$$

ξ_c и ξ_L – құрғақ және суармалы саптаманың қарсылық коэффициенттері.

<1 мкм бөлшектерден газдарды тазарту тиімділігін модельдеуге жақын тәсілді қарастырыңыз. Ол үшін газдарды тазарту дәрежесін (ICP бөлу тиімділігі) қатынас арқылы тасымалдау бірліктерінің саны арқылы білдіреміз (23).

Өздеріңіз білетіндей, жұқа дисперсті аэрозоль бөлшектердің мөлшері 0,02-ден 1 мкм-ге дейін. Осындай кішкентай бөлшектер үшін кейбір жуықтауда масса алмасу теориясының сәйкес тендеулеріне ұқсас тендеулерді қолдануға болады.

Сепараторға кіре берісте газ ағынының ун концентрациясы, ал ук шығысында болсын. Ағынның ядросында концентрация разрядта, ал канал қабырғасында болады $y_{гр}$.

DF арнасының беткі элементі үшін масса ағыны мен масса тендеулерін белгілі формада жазуға болады:

$$j = -G_r dy. \quad (27)$$

$$j = \rho_r \beta_r (y_\infty - y_{гр}) dF. \quad (28)$$

β_r – газ фазасындағы масса беру коэффициенті; G_r – газ ағынының массалық шығыны.

$$\rho_r \beta_r (y_\infty - y_{гр}) dF = G_r dy. \quad (29)$$

$$\int_{y_k}^{y_H} \frac{dy}{y_\infty - y_{гр}} = \frac{\rho_r \beta_r F}{G_r} \quad (30)$$

$$N = \int_{y_k}^{y_H} \frac{dy}{y_\infty - y_{гр}} = \frac{\rho_r \beta_r F}{G_r} \quad (31)$$

$$N \approx \frac{\rho_r \beta_r F}{G_r} \quad (32)$$

Кесте 2

Table 2

Таблица 2

Тәуелділік бойынша бөлу тиімділігін есептеу (23)

Calculation of distribution efficiency based on dependence (23)

Расчет эффективности распределения по зависимости (23)

Тасымалдау бірліктерінің саны, N	0,5	1,0	2,0	2,3	3,1	3,5	3,9	4,6	5,1	6,9
Газды тазарту тиімділігі, η	0,39	0,63	0,86	0,90	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,999

Белгілі мәндерін біле отырып, кез-келген масса алмасу аппараттары үшін g мәні немесе олардың жылу беру коэффициентімен байланысын (32) теңдеу арқылы тасымалдау бірліктері санының мәнін бағалауға болады. Шаңды бөлудің немесе ұстаудың тиімділігін есептеудің бұл әдісі жұқа аэрозольге жарамды (10 мкм).

Мысал ретінде пішіннің өте аз кедергісімен (фронтальды кедергі) сипатталатын тегіс параллель саптамасы бар құрылғыны қарастырайық және барлық дерлік энергия шығындары үйкеліске кетеді. Бұл энергия шығындарының жоғары құнымен маңызды.

Күштер балансының шартын жазайық:

$$\tau_w F = \Delta P_{mp} S, \quad (33)$$

S – аппараттың көлденең қимасының ауданы, м².

Қабырғадағы тангенс кернеуін импульсті беру теңдеуі арқылы да жазуға болады:

$$\tau_w = \rho_r \gamma \Delta u_\infty = \rho_r \beta_r (u_\infty \pm u_{rp}), \quad (34)$$

«+» – қарсы ағым;

«-» – тікелей ағын.

(33) және (34) теңдеулерден біз табамыз

$$\beta_r = \frac{\Delta P_{mp} S}{\rho_r F (u_\infty \pm u_{rp})}. \quad (35)$$

Содан кейін тасымалдау бірліктерінің санын есептеуге арналған теңдеу (32) келесідей болады:

$$N = \frac{\Delta P_{mp} S}{G (u_\infty \pm u_{rp})}. \quad (36)$$

Тегіс каналдағы газ ағыны кезінде жылдамдық профилін параболалық заңмен және шамамен сипаттауға болады $u_\infty \cong 1.5 u_{cp}$.

(22) теңдеуден біз сепаратордың тегіс параллель арнасы бойымен қозғалған кезде субмикрондық өлшемдегі бөлшектерге қатысты өрнекті аламыз:

$$n = 1 - \exp\left(-\frac{\Delta P_{mp} S}{G (u_\infty \pm u_{rp})}\right), \quad (37)$$

үйкеліс қысымының жоғалуы ΔP_{mp} эксперименталды немесе белгілі өрнектер бойынша орналасқан.

$$\Delta P_{mp} = \lambda_{mp} \frac{l}{d_3} \frac{\rho_r u_{cp}^2}{2}, \quad (38)$$

λ_{mp} – үйкеліс коэффициенті (жергілікті кедергісіз);

$u_{cp} = \frac{G}{\rho_r S}$ – газдың орташа жылдамдығы, м/с.

Осылайша, аэрозольдің жұқа дисперсті бөлшектерін бөлу (тұндыру) тиімділігінің (10 мкм) газ фазасындағы масса беру коэффициентімен және аппараттың энергетикалық шығындарымен (гидравликалық кедергі) байланысы анықталды. Бұл әдіс шаңды немесе тұманды ұстау дәрежесін оңай орнатуға мүмкіндік береді.

Құрылымның сенімділігіне, қызмет көрсетудің қарапайымдылығына және материалдардың кең спектрін өңдеу мүмкіндігіне байланысты ауыл шаруашылығында, химия

және тамақ өнеркәсібінде қолданылатын кептіру қондырғыларының барлық конструкцияларының ішінде барабан агрегаттары ең кең таралған (50%-дан астам) болды.

Барабан аппараттары дисперсті материалдарды кептіруге арналған. Бұл құрылымдардың теріс белгісі – олар ауа бассейнін ластайтын шаң мен газдың көзі болып табылады. Осыған байланысты барабан аппаратынан кейін құрғақ шаң жинағыштар орнатылады: гравитациялық; орталықтан тепкіш (құрғақ және дымқыл), мата (жең) және электр сүзгілері. Сондықтан барабан аппаратының, оттықтың, тиеу және түсіру бункерінің, шаң жинағыштардың жиынтығы басқа қосалқы құрылымдармен бірге кептіру-барабан агрегаты деп аталады.

Өкінішке орай, осы уақытқа дейін мұндай кешеннің бірлігі оны есептеудің бірлігіне әсер еткен жоқ. Сонымен, шаң мен газ ұстағыштарды таңдау барабанның өзінде осы компоненттердің пайда болу заңдылықтарын ескермей жүзеге асырылады.

Барабан аппараты-аэрозоль ағынымен толтырылған цилиндрлік камера, онда барабанның ұзындығы бойынша газ бен шаң концентрациясы үнемі артады. Соңғы параметрді есептеу кезінде дизайнерлер аппараттың ішкі элементтерінде (саптамаларында) шаң бөлшектерінің коагуляциясы мен тұндыру механизмін есепке алмай, тасымалдау теориясынан шығады, бұл газ-шаң ағынындағы бөлшектердің дисперсиясына айтарлықтай әсер етеді.

Сондықтан тегіс элементтердегі аэрозоль ағынының бөлшектерін тұндыру механизмін қарастырыңыз. Цилиндрлік арналардың диаметрі аэрозоль ағынының DH бөлшектерінің мөлшерінен едәуір үлкен екенін ескере отырып, біз арналардың радиусы мен қисықтық бұрышын елемейміз.

Гравитациялық және инерциялық күштердің әсерінен шаң бөлшектерінің тұндыруының белгілі стохастикалық моделіне сүйене отырып, біз бөлшек жылдамдығының релаксация уақытын бағалау үшін теңдеулер аламыз:

$$\tau_p = \frac{d_q^2 \rho_q}{18 \rho_r v_r}, \quad (39)$$

τ_p – релаксация уақыты, с;

d_q – бөлшектердің диаметрі, м;

ρ_q и ρ_r – бөлшектер мен газ ағынының тығыздығы, кг/м³;

v_r – кинематикалық тұтқырлық, м²/с.

Өлшемсіз релаксация уақыты келесідей жазылады:

$$\tau^+ = \frac{\tau_p u_{cp}^2}{v_r}. \quad (40)$$

Біз ұсынған энергетикалық тәсілден динамикалық жылдамдықты анықтаймыз:

$$u_* = 1.8 \left(\frac{\Delta P u_{cp} v_r}{l \rho_r} \right)^{1/4}, \quad (41)$$

ΔP – қысым айырмашылығы саптама қабатында дисперсті фазаның болуын ескере отырып, Па;

l – арнаның ұзындығы, м;

u_{cp} – аэрозоль ағынының жылдамдығы, м/с;

v_r – кинематикалық тұтқырлық, м²/с.

Осы үш теңдеуден біз аэрозоль бөлшектерінің өлшемсіз релаксация уақытын аламыз:

$$\tau^+ = 0.18 \frac{d_p^2 \rho_p}{(\rho_p v_r) \sqrt{\frac{\Delta P u_{cp}}{l}}} \quad (42)$$

The жалпылама жұмыс [8] әр түрлі авторлардың келесі формулалары келтірілген:

1. Liu және Agarwal кезінде $\tau^+ < 10$

$$u_t^+ = 6 \cdot 10^{-4} (t^+)^2. \quad (43)$$

2. Mc Coy және Hanratty

$$u_t^+ = 3.25 \cdot 10^{-4} (\tau^+)^2 \text{ кезінде } \tau^+ \leq 22,9 \quad (44)$$

$$u_t^+ = 0.17 \text{ кезінде } \tau^+ > 22,9 \quad (45)$$

3. Ужова және Медникова

$$u_t^+ = 7,25 \cdot 10^{-4} \cdot k \text{ кезінде } k \leq 16,6 \quad (46)$$

$$u_t^+ = 0,2 \text{ кезінде } k \leq 16,6 \quad (47)$$

$$\text{қайда } k = \left[\frac{\tau_p u_*^2}{v_r} \cdot \left(1 + \frac{\tau_p u_*}{0,05 d_p} \right)^{-1} \right]^2 \quad (48)$$

Осы тәуелділіктерден көрініп тұрғандай u_t бөлу жылдамдығы көбінесе u^* динамикалық жылдамдығының мәніне немесе тангенс кернеуіне байланысты $\tau_w \left(u_* = \sqrt{\tau/\rho} \right)$.

Шартты орындау үшін формулада ($\text{inf}^+ < 10$) есептеулер бойынша саптамалары бар барабанда шаң бөлшектерінің мөлшері 10 мкм-ден аз болуы керек екендігі анықталды (1-сурет). 0,1 мкм бөлшектердің өлшемсіз релаксация уақыты өте аз.

Саптамалары бар барабанға арналған бөлшектердің турбулентті тұндыру жылдамдығы:

$$u_t = 0,36 \cdot 10^{-4} \frac{d_p^4 \rho_p^2}{v_r^{2,75} \rho_r^{3,25}} \left(\frac{\Delta P u_{cp}}{l} \right)^{4/5} \quad (49)$$

u_t өрнек көмегімен жазылған (41).

Ұсақ бөлшектерге арналған саптамалары бар аппараттардағы сепарацияның тиімділігі:

$$n_t = 1 - \exp \left[-A \cdot \frac{d_p^4 \rho_p^2 \Delta P^{1,25}}{v_r^{2,75} \rho_r^{3,25} d_p} \left(\frac{u_k}{l} \right)^{0,25} \right], \quad (50)$$

A – пропорционалдылық коэффициенті;

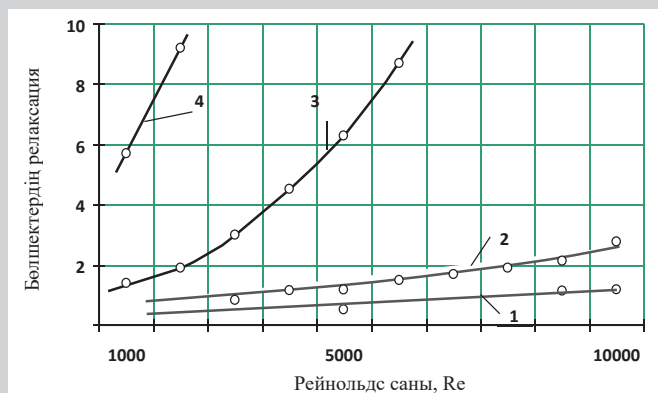
d_p и ρ_p – шаң бөлшектерінің мөлшері мен тығыздығы;

v_r и ρ_r – газдың (салқындатқыштың) кинематикалық тұтқырлығы мен тығыздығы;

ΔP – барабан аппаратының немесе зигзаг шаң жинағыштың саптамалары арасындағы арналар арқылы газ ағынының немесе ағынының өтуі кезіндегі үйкеліске төзімділік;

u_k – арналардағы газ-ауа ағындарының орташа жылдамдығы;

l – арнаның ұзындығы;



Жұмыс ортасы: ауа-су тамшылары.
Бөлшектердің диаметрі, d_p : 1 – 1 мкм; 2 – 2 мкм;
3 – 5 мкм; 4 – 10 мкм, $u_{cp} = 1 \div 10$ м/с, $L = 1$ м.

Сурет 1. Дөңгелек арналы барабандағы Рейнольдс санына бөлшектердің өлшемсіз релаксация уақытының тәуелділігі.

Figure 1. Dependence of the dimensionless relaxation time of particles on the Reynolds number in a circular channel drum.

Рис. 1. Зависимость времени безразмерной релаксации частиц от числа Рейнольдса в круговом канальном барабане.

d_p – b өлшемдері бар төртбұрышты арна үшін белгілі арақатынас бойынша анықталатын арнаның эквивалентті диаметрі в разряд (b – арнаның ені, B – түсіру бункерінің ені).

Бұл өрнек аэрозоль бөлшектері бар газ ағынының режимдік, құрылымдық саптамалары мен физикалық қасиеттерінің әртүрлі саптамалары бар барабандағы бөлу тиімділігіне әсерін тез бағалауға мүмкіндік береді.

Аэрозольді бөлудің математикалық моделі экологиялық модернизацияда немесе кептіру-барабан агрегаттарын жобалауда әртүрлі құрылымдық элементтердің тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Осы зерттеудің нәтижелері бойынша көрсетілген факторларды соңғы көрсеткішке өзгертудің маңыздылығы туралы қорытынды жасауға болады. Кептіргіш барабан аппаратының элементтеріне шаң бөлшектерін тұндырудың негізгі механизмдері орнатылған. Аэрозоль ағынынан шаң бөлшектерін бөлу тиімділігін есептеуге энергетикалық тәсіл ұсынылды. Барабанды кептіргіштің тегіс цилиндрлік арналарында шаң бөлшектерінің тұндыру тиімділігін бағалау үшін жалпылама теңдеу берілген. Аэрозоль ағынын бөлудің эзірленген ғылыми негіздері Технологиялық жабдықты экологиялық жаңғырту кезінде әртүрлі режимдік және конструктивтік шешімдерді пайдаланудың тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Yessenov M.K. Тау-кен және өңдеу өндірісінің шаң-тозаң деңгейін төмендету үшін технологиялық жабдықтарды экологиялық жаңғырту аспектілері. / M.K. Yessenov, L.I. Ramatullaeva, A.S. Kolenikov, G.K. Ivakhniyuk. // MIAB. Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетень. 2023. №10. Б. 136-148 (ағылшын тілінде)
2. Park S. Жетілдірілген аэрозоль бөлшектерін түсіру үшін жетілдірілген сүзгі материалдары. / S. Park, K. Lee. // Экологиялық инженерия технологиясы журналы. 2020. №5 (4). Б. 167-174 (ағылшын тілінде)
3. Kim J. Ауа сапасын бақылау үшін аэрозоль бөлшектерін ұстау технологияларындағы жетістіктер. / J. Kim, C. Yoon. // Таза энергия және қоршаған орта журналы. 2017. №3 (1). Б. 25-31 (ағылшын тілінде)
4. Абрамович Г.Н. Қолданбалы газ динамикасы: М.: Ғылым, 1976, Б. 110 (орыс тілінде)
5. Лойцянский Л.Г. Ламинарлы шекара қабаты: М.: Физматгиз, 1962, Б. 55-58 (орыс тілінде)
6. Авдудевский В.С., Галицкий Б.М., Глебов Г.А. Авиациялық және зымыран-ғарыш техникасындағы жылу беру негіздері: М.: Машина Жасау, 1975, Б. 214 (орыс тілінде)
7. Краснов Н.Ф., Кошевой В.Н., Захарченко В.Ф. Қолданбалы аэрогазодинамика негіздері: М.: Жоғары мектеп, 1991, Б. 93 (орыс тілінде)
8. Медников Е.П. Турбулентті тасымалдау және аэрозольдерді тұндыру: М.: Ғылым, 1980, Б. 176 (орыс тілінде)
9. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю. Өнеркәсіптік газдарды дайындау тазалау: М.: Химия, 1975, Б. 216 (орыс тілінде)
10. Өнеркәсіптік газдарды шаңнан тазарту. / В.Н. Ужов, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков, И.К. Решидов. М.: Химия, 1981, 390 б. (орыс тілінде)
11. Идельчик И.Е. Гидравликалық қарсылық анықтамалығы: М.; Л.: Мемэнергоиздат, 1960, Б. 464 (орыс тілінде)
12. Идельчик И.Е. Технологиялық аппараттардың аэрогидродинамикасы (Аппараттардың көлденең қимасы бойынша ағынды жеткізу, бұру және тарату): М.: Машина жасау, 1983, Б. 351 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Yessenov M.K. Aspects of ecological modernization of technological equipment to reduce the level of dust from mining and processing production. / M.K. Yessenov, L.I. Ramatullaeva, A.S. Kolenikov, G.K. Ivakhniyuk. // MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin. 2023. №10. P. 136-148 (in English)
2. Park S. Advanced filtering materials for enhanced aerosol particle capture. / S. Park, K Lee. // Journal of Environmental Engineering Technology. 2020. №5 (4). P. 167-174 (in English)
3. Kim J. Advances in aerosol particle capture technologies for air quality control. / J. Kim, C.Yoon. // Journal of Clean Energy and Environment. 2017. №3 (1). P. 25-31 (in English)
4. Abramovich G.N. Prikladnaya gazovaya dinamika: M.: Nauka, 1976, S. 110 [Abramovich G.N. Applied gas dynamics: M.: Science, 1976, P. 110] (in Russian)
5. Loitsyanskii L.G. Laminyarnyi pogranychnyi sloi: M.: Fizmatgiz, 1962, S. 55-58 [Loitsyansky L.G. Laminar boundary layer: M.: Fizmatgiz, 1962, P. 55-58] (in Russian)
6. Avduevskii V.S., Galitseiskii B.M., Glebov G.A. Osnovy teploperedachi v aviatsionnoi i raketno-kosmicheskoi tekhnike: M.: Mashinostroenie, 1975, S. 214 [Avduevsky V.S. Galitseysky B.M., Glebov G.A. Fundamentals of heat transfer in aviation and rocket and space technology: M.: Mechanical Engineering, 1975, P. 214] (in Russian)
7. Osnovy prikladnoi aerogazodinamiki. / N.F. Krasnov, V.N. Koshevoi, V.F. Zakharchenko. M.: Vyssh. shkola, 1991, S. 93 [Krasnov N.F., Koshevoy V.N., Zakharchenko V.F. Fundamentals of applied aerogas dynamics: M.: Higher school, 1991, P. 93] (in Russian)
8. Mednikov E.P. Turbulentnyi perenos i osazhdenie aerezolei: M.: Nauka, 1980, S. 176 [Mednikov E.P. Turbulent transport and deposition of aerosols: M.: Science, 1980, P. 176] (in Russian)
9. Uzhov V.N., Val'dberg A.Yu. Podgotovka promyshlennykh gazov k ochistke: M.: Khimiya, 1975, S. 216 [Uzhov V.N., Valdberg A.Yu. Preparation of industrial gases for cleaning: M.: Chemistry, 1975, P. 216] (in Russian)
10. Ochistka promyshlennykh gazov ot pyli. / V.N. Uzhov, A.Yu. Val'dberg, B.I. Myagkov, I.K. Reshidov. M.: Khimiya, 1981, 390 s. [Purification of industrial gases from dust. / V.N. Uzhov, A.Yu. Valdberg, B.I. Myagkov, I.K. Reshidov. M.: Chemistry, 1981, 390 p.] (in Russian)
11. Idel'chik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam: M.; L.: Gosenergoizdat, 1960, S. 464 [Idelchik I.E. Handbook of hydraulic resistance: M.; L.: Gosenergoizdat, 1960, P. 464] (in Russian)

12. *Idel'chik I.E. Aerogidrodinamika tekhnologicheskikh apparatov (Podvod, otvod i raspredelenie potoka po secheniyu apparatov): M.: Mashinostroenie, 1983, S. 351 [Idelchik I.E. Aerohydrodynamics of technological devices (Inlet, outlet and flow distribution across the cross-section of the apparatus): M.: Mechanical Engineering, 1983. P. 351] (in Russian)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Yessenov M.K. Аспекты экологической модернизации технологического оборудования для снижения уровня запыленности горнодобывающего и перерабатывающего производства. / M.K. Yessenov, L.I. Ramatullaeva, A.S. Kolenikov, G.K. Ivakhniyuk. // МИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. №10. С. 136-148 (на английском языке)*
2. *Park S. Усовершенствованные фильтрующие материалы для улучшенного улавливания аэрозольных частиц. / S. Park, K. Lee. // Журнал технологий экологической инженерии. 2020. №5 (4). С. 167-174 (на английском языке)*
3. *Kim J. Достижения в области технологий улавливания аэрозольных частиц для контроля качества воздуха. / J. Kim, C. Yoon. // Журнал чистой энергии и окружающей среды. 2017. №3 (1). С. 25-31 (на английском языке)*
4. *Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика: М.: Наука, 1976, С. 110 (на русском языке)*
5. *Лойцянский Л.Г. Ламинарный пограничный слой: М.: Физматгиз, 1962, С. 55-58 (на русском языке)*
6. *Авдеевский В.С., Галицейский Б.М., Глебов Г.А. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике: М.: Машиностроение, 1975, С. 214 (на русском языке).*
7. *Основы прикладной аэрогазодинамики. / Н.Ф. Краснов, В.Н. Кошевой, В.Ф. Захарченко. М.: Высш. школа, 1991, С. 93 (на русском языке)*
8. *Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей: М.: Наука, 1980, С. 176 (на русском языке)*
9. *Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю. Подготовка промышленных газов к очистке: М.: Химия, 1975, С. 216 (на русском языке)*
10. *Очистка промышленных газов от пыли. / В.Н. Ужов, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков, И.К. Решидов. М.: Химия, 1981, 390 с. (на русском языке)*
11. *Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям: М.; Л.: Госэнергоиздат, 1960, С. 464 (на русском языке)*
12. *Идельчик И.Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов (Подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов): М.: Машиностроение, 1983, С. 351 (на русском языке)*

Авторлар туралы мәліметтер:

Есенов М.К., М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің КеАҚ «Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау» кафедрасының докторанты (Шымкент қ., Қазақстан), kticz@bk.ru; <https://orcid.org/0009-0009-9925-5049>
Раматуллаева Л.И., М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің КеАҚ «Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау» кафедрасының байланысты профессоры, т.ғ.к. (Шымкент қ., Қазақстан), Ramatullaeva_l@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1771-9903>
Волненко А.А., М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің КеАҚ «Механика және машина жасау» ҒЗИ директоры, т.ғ.д., профессор (Шымкент қ., Қазақстан), nii_mm@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6800-9675>
Ивахнюк Г.К., Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институтының профессоры 2328 (Санкт-Петербург қ., Ресей), fireside@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3983-2328>

Information about authors:

Yessenov M.K., doctorant of the Department of «Life Safety and Environmental Protection» of the NCJCK of the South Kazakhstan University named after M. Aueyev (Shymkent, Kazakhstan)
Ramatullaeva L.I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Life Safety and Environmental Protection» of the NCJCK of the M. Aueyev South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan)
Volnenko A.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Research Institute «Mechanics and Mechanical Engineering» of the NCJCK of the M. Aueyev South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan)
Ivakhniyuk G.K., Professor St.-Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia)

Информация об авторах:

Есенов М.К., докторант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защиты окружающей среды» НАО Южно-Казахстанского университета им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан)
Раматуллаева Л.И., к.т.н, асоц. профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защиты окружающей среды» НАО Южно-Казахстанского университета им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан)
Волненко А.А., д.т.н, профессор, директор НИИ «Механика и машиностроение» НАО Южно-Казахстанского университета им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан)
Ивахнюк Г.К., профессор Санкт-Петербургского государственного технологического института (г. Санкт-Петербург, Россия)



miningmetals

CENTRAL ASIA

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

17 - 19 сентября 2024
Алматы, Казахстан



Организаторы

Iteca - тел.: +7 727 258 34 34



mining-metals.kz



mining_shows_kaz



miningmetals.kz

Уважаемые читатели журнала!

Редакция «Горного журнала Казахстан» поздравляет видного геолога-геофизика нашей страны М.С. Кунаева, одновременно являющегося Почетным Консулом Королевства Таиланд в Республике Казахстан с награждением его высшей государственной наградой Королевства «The Most Nobel Order of the Crown of Thailand».

Награда вполне заслуженная, учитывая ведущую роль М.С. Кунаева в сознательной деятельности по укреплению дружеских отношений с Королевством и развитию туризма.

Желаем Миргали Сапаргалиевичу новых трудовых достижений на ниве геологической науки, в создании теплого межгосударственного климата между Казахстаном и Таиландом, в обширной спонсорской деятельности, здоровья и благополучия.

Редколлегия «Горного журнала Казахстана»

БИОГРАФИЯ

Кунаев Миргали Сапаргалиевича

Кунаев Миргали Сапаргалиевич родился в г. Алматы 6 мая 1957 года, казах.

После окончания в 1979 году геофизического факультета Казахского Политехнического Института им. В.И. Ленина был направлен на работу в Казахский институт минерального сырья Министерства геологии КазССР, где начал заниматься внедрением новых геофизических методов при поиске месторождений полезных ископаемых.

С 1982 по 1984 годы служил в рядах Советской Армии на офицерских должностях. После завершения службы продолжил свою научную деятельность в Институте геологических наук имени К.И. Сатпаева Академии наук КазССР. В стенах этого института он вырос до зрелого научного работника, работая по проекту ЮНЕСКО (стратиграфия палеогена) – Пекин, Шанхай (1989 г.) и Международному проекту (1990 г.) по оценке перспектив нефтегазоносности Каспийского региона (Университет Южная Каролина, Колумбия). В 1990 году защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых».

С 1992 года Кунаев М.С. свою научную деятельность совмещает с бизнесом, являясь исполнительным директором Казахстанско-Американского Совместного предприятия «КазЮта-Минералс». В 1995 году Кунаев М.С. создал фирму «International Geophysics Ltd.», которая занималась научными и практическими проблемами поиска месторождений золота в Казахстане, начиная от лицензирования и проведения поисково-оценочных работ до освоения месторождений.

В 1998 году Кунаев М.С. был приглашен на должность президента Консорциума АО «Казахстанкаспийшельф», где проявил себя умелым руководителем и организатором работ при выполнении Проекта по геофизическому исследованию акватории Каспийского моря. С 2000 года и по настоящее время Кунаев М.С. является Председателем Совета Директоров компании «Caspian Services Inc.», которая занимается геофизическими исследованиями и поддержкой морских нефтяных операций на территории Каспийского моря, а также строительством объектов инфраструктуры. За время существования Компания выполнила более 40 000 километров двухмерной и трехмерной сейсморазведки на суше и на море, построила морскую



базу «Балыкши» в заливе Баутино, а также обеспечивала поддержку морских операций с помощью флотилии специализированных судов.

За время работы Кунаев М.С. привлек в Республику Казахстан из-за рубежа стратегических и портфельных инвесторов в нефтяные, горнорудные и сервисные проекты на сотни миллионов долларов США. Впервые в истории Казахстана вывел сервисную и нефтяную компании на фондовый рынок Америки (2001-2003 гг.).

Все эти годы Кунаев М.С. сочетает реализацию бизнес-проектов с научной деятельностью. Он периодически участвовал в тематических исследованиях Казахского института минерального сырья, Института геологических наук НАН РК, Казахского Национального технического

университета имени К.И. Сатпаева МОиН РК. Кунаев М.С. принимал участие в работах ряда Международных геологических и геофизических научных конференций, где выступал с докладами. Он автор более 100 научных трудов, в т.ч. 18 монографий и 10 научных отчетов, а также ряда патентов по поиску нефтегазовых и рудных месторождений. В 2002 году защитил докторскую диссертацию по теме «Геофизические исследования золотоносных зон Казахстана при поисково-оценочных работах» в Московской Геологоразведочной Академии. С 2004 года является академиком Международной Академии Информатизации, а с 2006 года академиком Российской Академии Естественных Наук.

Кунаев М.С. активно участвовал в создании крупной обобщающей исследовательской работы по созданию трехтомника Атласа «Республика Казахстан», где отражены природные условия и ресурсы Республики Казахстан в настоящее время, состояние социально-экономического развития республики, а также состояние окружающей среды и проблемы экологии. Кунаев М.С. является заместителем Главного редактора этого Атласа и Объяснительной записки к нему, оформленной в виде монографии.

Награжден почетными знаками (орденами) Российской Академии Естественных Наук за вклад в науку (2006-2007 гг.). За открытие месторождения кобальт-никелевых руд Экибастуз-Шидертинское он награжден дипломом и

почетным нагрудным знаком «Первооткрыватель месторождения Республики Казахстан» от 30 мая 2012 года. Награжден дипломом и почетным нагрудным знаком лауреата Государственной премии в области «Науки и Техники» в декабре 2013 года. В 2018 году награжден памятной медалью «100 лет Вооруженным Силам», в 2020 году медалью «Отличник труда». В декабре 2020 года указом Президента Республики Казахстан награжден орденом «Курмет» за заслуги в государственной и общественной деятельности, значительный вклад в социально-экономическое и культурное развитие страны, укрепление дружбы и сотрудничества между народами. В декабре 2021 года награжден юбилейной медалью «30 лет Независимости РК». В мае 2022 года награжден медалью «Заслуженный работник Республики Казахстан». В октябре 2023 года получен Диплом на Открытие – «Свойство ореольного рудного пространства формировать самостоятельные рудные месторождения».

С 2006 года является Почетным Консулом Королевства Таиланд в Казахстане. Почетный член Академического союза Оксфорд, Член Международной федерации почетных консулов.

За заслуги перед Королевством Таиланд в марте 2023 года был награжден орденом «The Most Nobel Order of the Crown of Thailand».

Кандидат в мастера спорта ССР.

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің (ҚазҰТЗУ-дың) ректоры, экономка ғылымдарының докторы, профессор Мейрам Мұхаметрақымұлы Бегентаевқа 50 жас

Ата-бабаларымыз өмір дегенді барлық сән-салтанатымен жарқырай, артынып-тартынып сары далада көшіп бара жатқан ұлы керуенге ұқсатқан ғой. Қазекем өмірдің сәнін, тіршіліктің нәрін содан тапқан.

Үшса құстың қанаты талатын, шапса тұлпардың тұяғы тозатын ұшы-қиырсыз қазақтың кең даласын сайғақ өрген Сарыарқасыз, дана тұлғалы Баянауылсыз, жер жаннағы Жетісусыз, қара алтынды Каспий ойпатынсыз танып-білу мүмкін емес. Сарыарқаны ауызға алғанымызда көз алдымызға ең алдымен Баянауыл елестейді.

Бүгін елуді еңсеріп отырған Мейрам Мұхаметрақымұлы Бегентаев Баянауыл өлкесінде 1974 жылдың 1-мамырында дүниеге келген. 1975 жылы мектеп бітіріп, 1991 жылы С. Торыайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетін үздік тамамдаған азамат.

Өмірдің барлық баспалдақтарынан өтіп, бүгінде Қазақстанның инженер кадрларын даярлайтын Қарашаңырағы, инженерлік білім мен ғылымның Хантәңірі – Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің (ҚазҰТЗУ-дың) ректоры қызыметін атқарып отыр.

Қайлай десекте, қарашаңыраққа ие болып отырған, от пен суға бірдей, жас та болса бас, ұжымның жел жақтағы панасы болып отырған – Мейрам Мұхаметрақымұлына адам жетпейді!

Шынардай шыңның шығып, ердің жасы 50 келген – мерейтойыңыз құтты болсын, бойыңыздағы кернеген күш-қуат тек жақсылыққа арналсын, еңбегіңіздің зейнетін көре беріңіз, ҚазҰТЗУда мейрамдар бола берсін деген ақ тілегімді айта отырып, мына құттықтау жырымызды жолдаймыз.

*Өнеге мен ғылым берер жастарға,
Сәтбаевтың ҚазҰТЗУ-ын басқарған.
Қадірменді Пайғамбарұлы Мейрекең
Көтерілді «Елу» – деген асқарға.*

*Жігіттің Сендей болсын әруақтысы.
Ісіңнің ұрпаққа үлгі салмақтысы.
Ұл сыйлар ұлтың барда бағаң биік,
Қазақтың «Елудегі» ардақтысы.*

*Баянның тәрбие алып мектебінен,
Жасыңнан қиянатқа кектеніп ең,
Инженер, ғалым, үкімет қайраткері,
Өмірдің өттің барлық өткелінен.*

Уважаемый Мейрам Мухаметрахимович!

Редакционная коллегия журнала присоединяется к поздравлению и отмечает в связи с юбилейной датой важную роль вносимого Вами вклада в научно-технологический суверенитет горно-металлургического комплекса нашей страны. Воспитание специалистов – будущих руководителей промышленных предприятий, научных работников и специалистов проектных организаций является фундаментом, на котором строится здание социально-экономического развития, и КазННТУ им. К.И. Сатпаева, возглавляемый Вами, является путеводной звездой на карте Казахстана, устремленного в будущее.

Желаем Вам здоровья и успехов на избранном поприще на благо нашего народа!



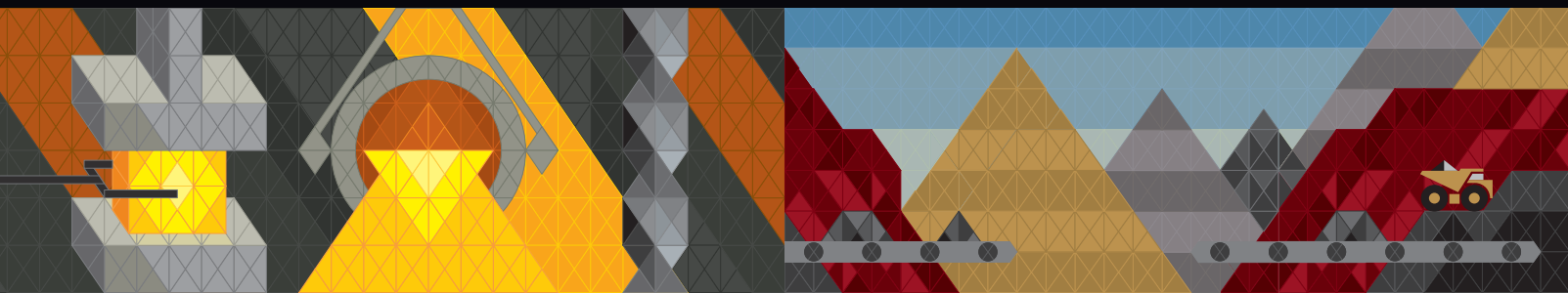
*Әр ғасыр мақтанады қанатты ермен,
Тұлғаңнан туған елің талап көрген.
Өзіңдей елін сүйген марқасқалар,
Іргесін талай ВУЗдың қалап берген.*

*Қай ұжымды басқарсаң да, толғандың,
Бірақ артта соқпақ емес, жол қалды.
Енді бүгін ҚазҰТЗУ-ды әлемге,
Танытуды самғатуды қолға алдың.*

*Бұл Мейрекең терді бекер төкпейді,
Ол кіріскен істер ізсіз өтпейді.
ҚазҰТЗУдың ғимараттары жаңғырып,
Білім-ғылым өсіп, өніп, көктейді!*

*Осы жолда жетістік боп мол, басым,
Мәшһүр-Жүсіп желеп-жебеп, қолдасын!
Құтты болсын «Елу» атты Мерейтой!
Өмір талай Мерейтойлар жолдасын!*

**Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ-дың
Тау-кен металлургия институтын ұжымы
және Қазақстанның тау-кен журналы
құттықтайды.**



Металлургия. Металлообработка

24–27 сентября 2024
Пермь

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

крупнейший специализированный
региональный проект в России



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

metal.proexpo.ru

Рудник. Урал / The Mine. Ural

23–25 октября 2024
Екатеринбург

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

одна из главных выставок
горной тематики в России



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

mine.proexpo.ru



Металлообработка. Сварка — Урал

18–21 марта 2025
Екатеринбург

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

крупнейший специализированный
региональный проект в России



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

metal-ekb.proexpo.ru

Металлургмаш. Литмаш. Металлоконструкции

18–21 марта 2025
Екатеринбург

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

место встречи специалистов
в области металлургии
и литейного производства



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

metalmash.proexpo.ru

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.