

Код МРНТИ 52.31.47

А.А. Мусин<sup>1</sup>, Г.Ж. Жунусбекова<sup>1</sup>, \*Ш.Б. Зейтинова<sup>1</sup>, Т.К. Шайбахмет<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан),

<sup>2</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

## СНИЖЕНИЕ РАЗУБОЖИВАНИЯ РУДЫ ПРИ ОТРАБОТКЕ МАЛОМОЩНЫХ РУДНЫХ ТЕЛ ПУТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА

**Аннотация.** Проведено геотехническое картирование массива горных пород по рейтинговым классификациям Q, RMR, RQD и GSI, выполнена линейная съемка системы трещин пород всячего и лежащего боков с применением горного компаса и приложения GEO ID. Применен численный анализ методом предельного равновесия в программном пакете Unwedge для определения коэффициента прочностного запаса массива, разбитого трещинами на клинья. С помощью молотка Шмидта был определен предел прочности пород на одноосное сжатие в массиве. Проведены натурные эксперименты с применением тросовой крепи в условиях месторождения Акбакай. Рассчитаны параметры тросовой крепи с учетом неравномерности распределения горизонтальных и вертикальных напряжений в массиве. Установлено, что при упрочнении всячего бока тросовыми анкерами в наклонных жилах с углом падения до 40° среднее разубоживание руды составило 66,1%, а ранее отработанных без крепления – 68,7%.

**Ключевые слова:** разубоживание, руда, тросовое крепление, очистное пространство, породы, трещиноватость, угол падения.

**Өндірілген кеністікті жасанды түрде ұстап тұру арқылы қуаты аз кен денелерін өңдеу кезінде кенді ыдыратуды азайту**

**Андатпа.** Q, RMR, RQD және GSI рейтингтік жүйелері бойынша тау жыныстарының массивін геотехникалық картаға түсіру жүргізілді, тау компасы мен GEO id қосымшасын қолдана отырып, ілулі және жатып жатқан жыныстардың жарықтар жүйесін сызықтық түсіру жүргізілді. Массивтің беріктік коэффициентін анықтау үшін Unwedge бағдарламасында шекті тепе-теңдік әдісімен сандық талдау қолданылды. Шмидт балғасының көмегімен массивтегі бір осьті қысуға беріктік шегі анықталды. Акбакай кен орны жағдайында кабельдік бекіткішті қолдана отырып, эксперименттер жүргізілді. Массивтегі көлденең және тік кернеулердің бірқелкі бөлінбеуін ескере отырып, кабельді бекіту параметрлері есептелді. 40° дейін түсу бұрышы бар көлбеу кен денелерінің катаяту кезінде кеннің орташа құнарсыздануы 66,1%, ал бұрын бекітусіз пайдаланылғандар 68,7% құрағаны анықталды.

**Түйінді сөздер:** құнарсыздану, кен, кабельді бекіту, тазарту кеністігі, жыныстар, жарықтар, құлау бұрышы.

### Reduction of ore dilution during mining of low-power ore bodies by artificially maintaining the developed space

**Abstract.** Geotechnical mapping of the rock mass according to the rating classifications Q, RMR, RQD and GSI was carried out, a linear survey of the system of cracks in the rocks of the hanging and recumbent sides was performed using a mountain compass and GEO ID application. Numerical analysis by the limit equilibrium method in the Unwedge software package is applied to determine the strength reserve coefficient of an array broken into wedges by cracks. With the help of a Schmidt hammer, the strength limit of rocks for uniaxial compression in the massif was determined. Full-scale experiments were carried out with the use of cable support in the conditions of the Akbakai deposit. The parameters of the cable support are calculated taking into account the uneven distribution of horizontal and vertical stresses in the array. It was found that when the hanging side was strengthened with cable anchors in inclined veins with an angle of incidence up to 40°, the average dilution of ore was 66.1%, and 68.7% of previously worked without fastening.

**Key words:** dilution, ore, cable fastening, cleaning space, rocks, fracturing, angle of incidence.

### Введение

Разубоживание руды приводит к потере качества полезных ископаемых в процессе добычи, выражающегося в снижении содержания полезного компонента в добытой минеральной массе по сравнению с содержанием его в разрабатываемом месторождении [1], что обычно вызвано разбавлением руды пустыми породами или обрушением закладочного массива [2]. Маломощные рудные тела, как правило, имеют сложную структуру с возможными раздувами и пережимами. При отработке маломощных рудных залежей системой поэтажного обрушения с торцевым выпуском руды вероятность снижения содержания полезного ископаемого увеличивается. К примеру, фактическое разубоживание руды на месторождении Акбакай АО «Алтыналмас» достигает 70% и более. В таблице 1 сведены показатели разубоживания руды некоторых золотодобывающих рудников, обрабатывающих маломощные рудные тела [3, 4].

Естественно, что при разработке мощных, однородных по составу рудных залежей разубоживание возможно только в контактах рудной залежи с вмещающими ее породами, и в целом по рудному телу разубоживание будет минимальным. В маломощных рудных залежах размер разубоживания становится выше, ввиду обрушения вмещающих пород околорудной зоны по различным факторам [5].

Таблица 1

Показатели разубоживания на некоторых рудниках

Кесте 1

Кейбір шахталардағы ыдырау көрсеткіштері

Table 1

Dilution rates at some mines

Название рудника	Мощность рудного тела, м	Ширина очистного пространства, м	Разубоживание руды, %
Copper Cliff Mine (Канада)	1,24	3,13	62,6
Dugald River (Австралия)	2,15	4,23	47,0
Жолымбет (Казахстан)	1,55	6,15	74,7
Акбакай (Казахстан)	1,0	2,85	64,9
Шаумян, Армения	0,7	2,05	60,9
Краков, Австралия	1,0	2,18	54,1

Размер разубоживания маломощных рудных залежей в основном зависит от применяемой системы разработки, структурных и прочностных свойств массива, от воздействия силы взрыва на вмещающие породы, применения искусственного поддержания выработанного пространства, природного поля напряжения массива горных пород, геометрических характеристик жилы, мощности и падения рудного тела [6, 7].

На зарубежных рудниках Австралии (MMG Limited Dugald River) и Новой Зеландии (OceanaGold Waihi) в целях снижения сверхпланового разубоживания руды широко применяется тросовое крепление (cable bolts) для поддержания висячего и лежащего боков. Зарубежные исследователи Barton, N.R., Lien, R., Nickson, S.D., R Hassell в своих работах рассказывают об эффективности в применении тросового крепления для управления разубоживанием руды при системах с открытым очистным пространством [8, 9, 10].

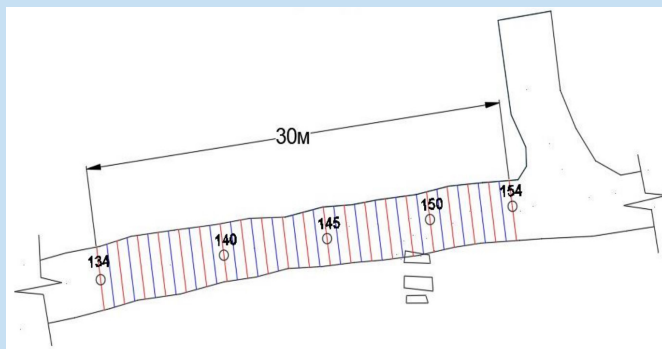
Таким образом, по анализу литературных источников подтверждается эффективность применения тросовых анкеров в целях поддержания в устойчивом состоянии законтурного массива очистной камеры.

#### Методика исследований

Объектом для проведения исследований и опытно-промышленных испытаний выбрано маломощное месторождение Акбакай.

При отбойке руды происходит разубоживание руды более 60%, при проектном разубоживании не более 38% разубоживание руды. Разубоживание происходит за счет прихвата породы, преимущественно с висячего бока, т.е. трещины в породном массиве слагают плоскости напластования и в основном субпараллельны по отношению к залеганию рудного тела, которые склонны к отслоению и обрушению в процессе отработки запасов полезного ископаемого.

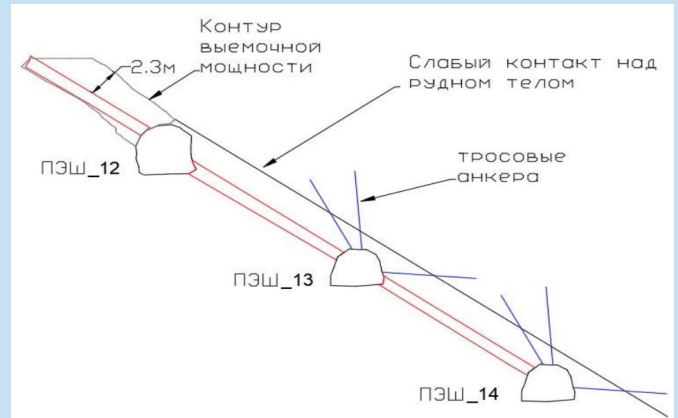
В целях снижения разубоживания руды на месторождении Акбакай принято решение провести промышленные испытания для определения эффективности тросовых анкеров. Для проведения опытов выбран локальный участок протяженностью 30 метров на подэтажном штреке №13 жилы Пологая, эскиз в плане показан на рисунке 1, в разрезе на рисунке 2. Угол падения жил не более 40 градусов.



**Рис. 1. Участок для проведения испытаний по тросовому креплению.**

**Сурет 1. Арканды бекіту бойынша сынақтар жүргізуге арналған учаске.**

**Figure 1. The area for conducting tests on cable fastening.**



**Рис. 2. Вид участка для проведения испытаний по тросовому креплению в разрезе.**  
**Сурет 2. Кесімде Арқанмен бекіту бойынша сынақ жүргізуге арналған учаскенің түрі.**  
**Figure 2. View of the section for conducting the cable fastening test in the section.**

На участке опытных испытаний было произведено геотехническое картирование массива горных пород по рейтинговым классификациям Q, RMR, RQD и GSI, выполнена линейная съемка трещин с применением горного компаса и приложения GEO ID. С помощью молотка Шмидта был определен предел прочности пород на одноосное сжатие непосредственно в массиве. Для обоснования параметров тросового крепления измерялось природное напряженное состояние массива горных пород [11, 12].

При проектировании подземных горных работ напряженно-деформированное состояние породного массива является вопросом первостепенной важности для обеспечения безопасности и прогноза устойчивости горных выработок. Существует ряд методов, позволяющих провести натурные измерения геомеханических параметров горного массива. При этом во многих случаях остается открытым вопрос о достоверности полученных значений напряжений вследствие некорректности постановки обратной задачи, в которой тот или иной метод находит теоретическое обоснование.

Анализ литературных источников показал, что наиболее эффективным является метод гидравлического разрыва скважин для определения величин действующих в массиве главных напряжений. Классический анализ гидроразрыва пласта основан на решении Кирша для распределения напряжений вокруг круглого отверстия в однородном, изотропном, упругом материале, подвергнутом воздействию высоких сжимающих напряжений. Основной задачей исследований методом гидроразрыва пласта являлось определение величины и направлений главных напряжений и природного поля напряжений, действующих в массиве горных пород для дальнейшего использования при проектировании.

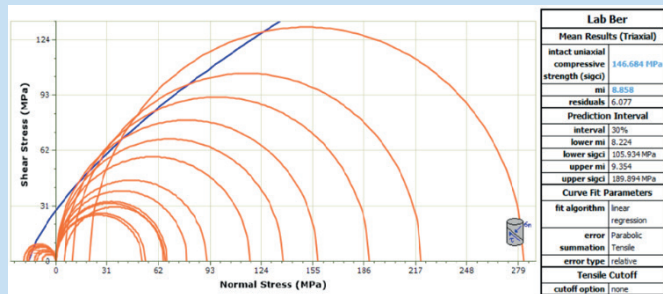
В целях измерения напряжений пробурены 2 скважины на глубину около 100 м с диаметром 96 мм. Глубина ведения горных работ составляет 460 м на месте расположения скважины S\_ZL70\_15\_GM1 и 340 м на месте расположения скважины S\_FR76\_28\_GM2.

Всего на месторождении Акбакай было выполнено 18 замеров поля напряжений.

**Результаты**

По полученным данным со скважины S\_ZL70\_15\_GM1 на глубине  $521,3 \pm 34,0$  м значения вертикального главного напряжения составляют  $\sigma_1 = 13,8 \pm 0,9$  МПа (Sv), величина минимального горизонтального напряжения составляет  $\sigma_3 = 7,0 \pm 0,7$  МПа (Sh), величина максимального горизонтального напряжения  $\sigma_2 = 13,2 \pm 2,3$  МПа (SH). Азимут максимального горизонтального напряжения  $\sigma_2 - N114 \pm 20$  градусов (θSH).

В результате лабораторных исследований были определены прочностные свойства следующих горных пород: березиты, гранодиориты, диориты и лампрофилы. Ниже приведены значения физико-механических свойств указанных литологических разновидностей в массиве. С помощью программного обеспечения RocData были построены паспорта прочности горных пород в массиве. На рисунке 3 приведен построенный паспорт прочности пород.



**Рис. 3. Паспорт прочности пород в массиве.**  
**Сурет 3. Массивтегі тау жыныстарының беріктігі паспорты.**  
**Figure 3. Passport of rock strength in the massif.**

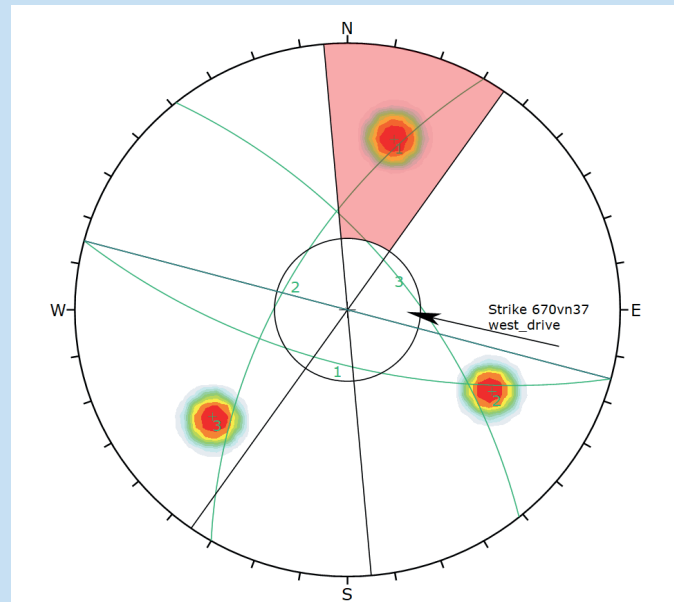
Результаты вычислений показали, что прочность пород на одноосное сжатие березитизированных гранодиоритов снижается ориентировочно на 90%, диоритов на 92%, гранодиоритов на 92%, дайки лампрофилитов на 95%.

По данным линейной съемки трещин и обработки ее в ПО Dipr выполнен кинематический анализ трещиноватости массива, результаты которого приведены на рисунке 4. Определены три системы трещин.

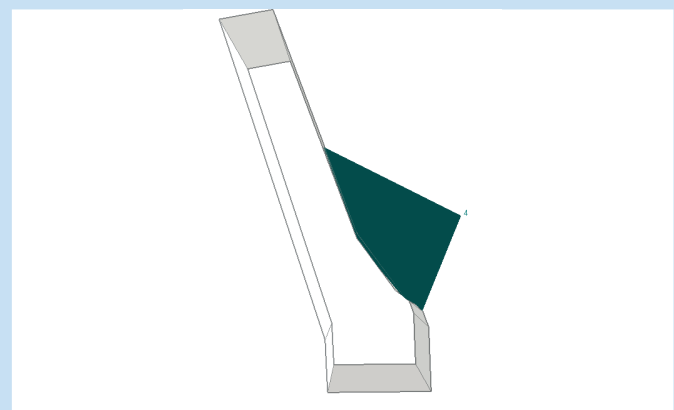
По результатам кинематического анализа следует предполагать, что основной системой трещин является система №2, ориентация которой параллельна к контуру рудного тела и по трещинам возможны отслоения горной массы из всячего борта под действием собственного веса, а отслоения с лежачего бока маловероятны. По определенным системам трещин в ПО Unwedge выполнен анализ методом предельного равновесия в целях определения запаса устойчивости клиньев (рисунок 5).

Анализ методом предельного равновесия показал, что породы лежачего бока находятся в устойчивом состоянии, тогда как коэффициент запаса прочности пород всячего бока равен 0,98, по критериям программы Unwedge, если коэффициент запаса прочности менее 1, то породы находятся в неустойчивом состоянии, из чего следует предпо-

лагать, что всячий бок требует искусственного поддержания путем крепления с применением тросовых анкеров.



**Рис. 4. Кинематический анализ трещиноватости массива.**  
**Сурет 4. Массивтің жарылуын кинематикалық талдау.**  
**Figure 4. Kinematic analysis of the fracturing of the array.**

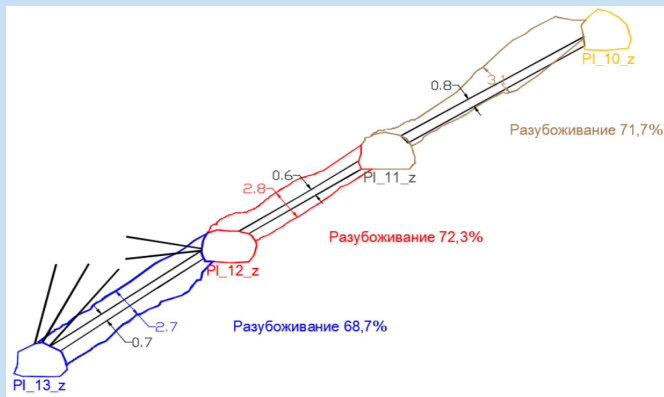


**Рис. 5. Анализ методом предельного равновесия в ПО Unwedge.**  
**Сурет 5. Unwedge бойынша шекті тепе-теңдік әдісімен талдау.**  
**Figure 5. Analysis by the limit equilibrium method in the Unwedge software.**

На рисунке 6 приведены результаты опытных испытаний по применению тросового крепления для искусственного поддержания выработанного пространства и для снижения разубоживания руды.

Как показано на рисунке 6, разубоживание изменяется от 68,7 до 72,3% с промежуточным значением 71,7%. Результаты сравнительного анализа с вышележащими подэ-

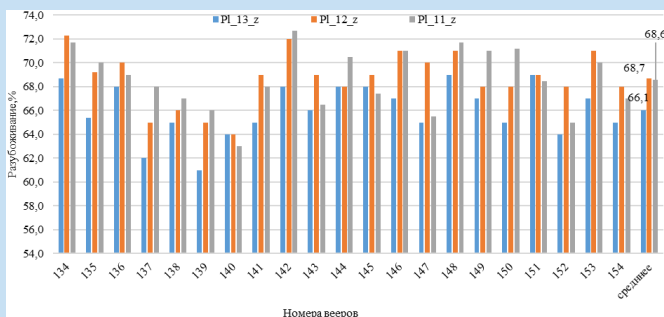
тажами сведены в диаграмму на рисунке 7. Из сравнительного анализа разубоживания руды видно, что тросовые анкеры не предотвратили отслоения пород висячего бока, соответственно разубоживание руды не снизилось. Следовательно, применение тросовых анкеров в неустойчивых сильнотрещиноватых породах углом падения не более 40 градусов не дало положительного результата.



**Рис. 6. Результаты опытных испытаний тросового крепления, вид в разрезе по вееру 140.**

**Сурет 6. Арқанды бекітудің тәжірибелік сынақтарының нәтижелері, желдеткіш бойынша кимадағы түрі 140.**

**Figure 6. Results of experimental tests of the cable attachment, cross-sectional view of the fan 140.**



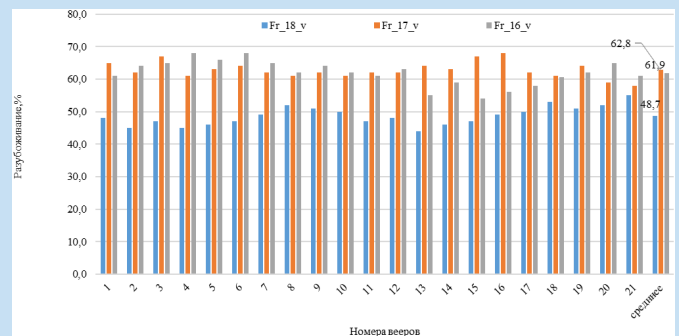
**Рис. 7. Сравнительный анализ фактических результатов разубоживания руды на наклонных жилах углом падения не более 40 градусов.**

**Сурет 7. Нақты нәтижелерді салыстырмалы талдау 40 градустан аспайтын көлбеу престерде кенді ыдырату.**  
**Figure 7. Comparative analysis of the actual results of ore dilution on inclined presses with an angle of incidence of no more than 40 degrees.**

Максимальное значение разубоживания руды на наклонных жилах углом падения не более 40 градусов составило 72,5% в пределах жилы PL\_11\_z по вееру 142, в то время как по этому же вееру разубоживание в пределах жилы PL\_13\_z составило 68,0%, что в процентном соотношении составило 6,3%. Минимальное значение разубоживания руды на наклонных жилах углом падения не более 40 градусов составило 61,0% в пределах жилы PL\_13\_z по вееру 139, в то время как по этому же вееру разубоживание в пределах жилы PL\_11\_z составило 66,0%, что в процент-

ном соотношении составило 7,6%. Среднее значение разубоживания по всем веерам составило 66,1% в пределах жилы PL\_13\_z, 68,7% в пределах жилы PL\_12\_z и 68,6 % в пределах жилы PL\_11\_z.

Аналогичные опыты были проведены на крутопадающих жилах. Для проведения опытов был выбран локальный участок жилы Фроловская (Fr\_18\_v) углом падения жил более 60 градусов. На рисунке 8 приведены результаты опытных испытаний на крутопадающих жилах углом падения более 60 градусов.



**Рис. 8. Сравнительный анализ фактических результатов разубоживания руды на крутопадающих жилах углом падения более 60 градусов.**

**Сурет 8. Нақты нәтижелерді салыстырмалы талдау 60 градустан жоғары құлау бұрышы бар тік құлаған тамырлардағы кенді ыдырату.**

**Figure 8. Comparative analysis of the actual results of ore dilution on steeply falling veins with an angle of incidence of more than 60 degrees.**

Максимальное значение разубоживания руды на наклонных жилах углом падения не более 60 градусов составило 67,5%. Минимальное значение разубоживания руды на наклонных жилах углом падения не более 60 градусов составило 44,0%. Среднее значение разубоживания по всем веерам составило 48,7% в пределах жилы Fr\_18\_v, 61,9% в пределах жилы Fr\_17\_v и 61,9% в пределах жилы Fr\_16\_v.

Таким образом, по результатам опытных испытаний следует отметить, что на крутопадающих жилах тросовое крепление способствовало тому, чтобы снизить разубоживание руды с 62,8% до 48,7%, то есть по сравнению с вышележащими подэтажами разубоживание снизилось примерно на 14%.

### Выводы

В результате проведения исследований выполнен кинематический анализ в ПО Dips по данным линейной съемки трещин, по результатам которого определены системы трещин, образующие клинья в лежачем и висячем боках очистного пространства. На основе определения систем трещин произведен численный анализ методом предельного равновесия в ПО Unwedge для определения коэффициента запаса прочности образовавшихся клиньев.

Численный анализ методом предельного равновесия показал, что породы лежачего бока находятся в устойчивом состоянии, тогда как запас прочности пород висячего

бока равен 0,98, из чего следует полагать, что всячий бок требует искусственного поддержания путем крепления с применением тросовых анкеров.

По результатам экспериментов путем искусственного поддержания выработанного пространства в наклонных жилах углом падения до 40 градусов среднее разубоживание руды составило 66,1%, тогда как разубоживание руды на ранее отработанных подэтажах без крепления составляет 68,7%. В аналогичных экспериментах на крутопадающих жилах углом падения более 60 градусов разубоживание снизилось с 62,8% до 48,7%, то есть на 14%.

Таким образом, эффективность искусственного поддержания выработанного пространства в наклонных жилах

незначительна и не покрывает затраченные расходы на бурение скважин, оборудование и материалы для крепления. Однако, в крутопадающих жилах углом падения более 60 градусов применение тросового крепления способствует существенному снижению разубоживания и экономически выгодно.

### Благодарность

*Статья опубликована в рамках грантового финансирования исследований молодых ученых по проекту «Жас галым» на 2022-2024 годы (ИРН – АР14972951), при финансировании Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.*

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Урли В. Стабильно-экономическая модель открытого забоя для предотвращения разбавления с использованием конструкции крайней плоти. / В. Урли, К. Эсмаили. // Международный журнал механики горных пород и горных наук. 2016. С. 71-82 (на английском языке)
2. Пытлованый М.В. Особенности подземной добычи высокосортных железных руд в аномальных геологических условиях. / М.В. Пытлованый, В.В. Русских, С.А. Зубко. // Журнал геологии, географии и геоэкологии. 2019. №28 (4). С. 706-716 (на английском языке)
3. Чжан Д. Исследование по оптимизации параметров структуры очистного забоя для крутонаклонных разрушенных рудных тел средней мощности. / Д. Чжан, С. Лю, Дж. Ван // Горное дело, металлургия и геологоразведка. 2022. №39 (3). С. 1099-1112 (на английском языке)
4. Эмад М.З. Влияние вибраций, вызванных взрывом, на разрушение засыпки при вертикальной добыче блоков с отсроченной обратной засыпкой. / М.З. Эмад, Х. Митри, С. Келли. // Канадский геотехнический журнал. 2014. №51 (9). С. 975-983 (на английском языке)
5. Петлованый М. Оценка целесообразности механической активации вяжущего материала в цементированной каменной засыпке. / М. Петлованый, О. Маникин. // Журнал инженерных и прикладных наук ARPN. 2019. №14 (20). С. 3492-3503 (на английском языке)
6. Петлованый М.В. Физико-химический механизм структурообразования и упрочнения в массиве обратной засыпки при заполнении подземных полостей. / М.В. Петлованый, С.А. Зубко, В.В. Попович, К.С. Сай. // Вопросы химии и химической технологии. 2020. С. 142-150 (на английском языке)
7. Делентас А. Анализ условий стабильности и разбавления руды при добыче открытым способом. / А. Делентас, А. Бенардос, П. Номикос. // Полезные ископаемые. 2021. №11 (12). С. 1404 (на английском языке)
8. Ю К. Численное экспериментальное исследование разрежения руды при подземной разработке с обрушением. / К. Ю, С. Чжан, Ф. Рен. // Горное дело, металлургия и разведка. 2020. №38 (1). С. 457-469 (на английском языке)
9. Ярош А.П. Мониторинг полости открытого очистного забоя для контроля разрежения и потерь руды. / А.П. Ярош, Л. Шепард. // Планирование рудника и выбор оборудования. 2018. С. 63-66 (на русском языке)
10. Базалук О. Оценка нестабильности нависающих стеновых пород при подземной добыче железных руд. / О. Базалук, М. Петлованый, С. Зубко, В. Лозинский, К. Сай. // Полезные ископаемые. 2021. №11 (8). С. 858 (на английском языке)
11. Форстер К. Факторы добычи полезных ископаемых и массива горных пород, влияющие на размывание подвесных стен. / К. Форстер, Д. Милн, А. Поп. // Механика горных пород: решение проблем и требований общества. 2007. С. 1361-1366 (статья на английском языке)
12. Султанов М.Г. Разработка выбора типов крепей и технологий их возведения на месторождении «Восход». / М.Г. Султанов, А.К. Матаев, Д.С. Кауметова, Р.М. Абдрашев, А.С. Куантай, Б.М. Орынбаев. // Уголь. 2020. С. 17-21 (на английском языке)

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Урли В. Тері құрылымын қолдана отырып, сұйылтудың алдын алу үшін ашық кенжардың тұрақты экономикалық моделі. / В. Урли, К. Эсмаили. // Халықаралық тау жыныстары мен тау-кен механикасы журналы. 2016. Б. 71-82 (ағылшын тілінде)

2. *Пытлований М.В. Аномальды геологиялық жағдайларда жоғары сұрыпты темір кендерін жерасты өндірудің ерекшеліктері. / М.В. Пытлований, В.В. Орыстар, С.А. Зубко. // Геология, география және геоэкология журналы. 2019. №28 (4). Б. 706-716 (ағылшын тілінде)*
3. *Чжан Д. Орташа қуаттылықтағы крутонаклонные қираған кен денелері үшін тазарту кенжарының құрылымының параметрлерін оңтайландыру бойынша зерттеу. / Д. Чжан, С. Лю, Дж. Ван. // Тау-кен метал, металлургия және геологиялық барлау. 2022. №39 (3). Б. 1099-1112 (ағылшын тілінде)*
4. *Эмад М.З. Жарылыстан туындаған тербелістердің қайта толтыруды кейінге қалдырған блоктарды тік өндіру кезінде толтырудың бұзылуына әсері. / М.З. Эмад, Х. Митри, С. Келли. // Канадалық геотехникалық журнал. 2014. №51 (9). Б. 975-983 (ағылшын тілінде)*
5. *Ілмек М. Цементтелген тас толтырғыштағы тұтқыр материалды механикалық белсендірудің орындылығын бағалау. / М. Ілмек, О. Маникин. // ARPN инженерлік және қолданбалы ғылымдар журналы. 2019. №14 (20). Б. 3492-3503 (ағылшын тілінде)*
6. *Петлований М.В. Жер асты қуыстарын толтыру кезінде қайта толтыру массивінде құрылымның қалыптасуы мен нығаяуының физика-химиялық механизмі. / М.В. Петлований, С.А. Зубко, В.В. Попович, К.С. Сай. // Химия және химиялық технология мәселелері. 2020. Б. 142-150 (ағылшын тілінде)*
7. *Delentas A. Ашық әдіспен өндіру кезінде кеннің тұрақтылығы мен сұйылту жағдайларын талдау. / A. Delentas, A. Benardos, P. Nomicos. // Пайдалы қазбалар. 2021. №11 (12). Б. 1404 (ағылшын тілінде)*
8. *Ю К. Жер асты қазбалары кезінде кендердің азаюын сандық эксперименттік зерттеу. / К. Ю, С. Чжан, Ф. Рен. // Тау-кен метал, металлургия және барлау. 2020. №38 (1). Б. 457-469 (ағылшын тілінде)*
9. *Ярош А.П. Кеннің жұқаруы мен жоғалуын бақылау үшін ашық тазарту кенжарының қуысын бақылау. / А.П. Ярош, Л. Шепард. // Шахтаны жоспарлау және жабдықты таңдау. 2018. Б. 63-66 (орыс тілінде)*
10. *Базалук О. Темір кендерін жерасты өндіру кезінде асып түсетін қабырға жыныстарының тұрақсыздығын бағалау. / О. Базалук, М. Петлований, С. Зубко, В. Лозинский, К. Сай. // Пайдалы қазбалар. 2021. №11(8). Б. 858 (ағылшын тілінде)*
11. *Форстер К. Аспалы қабырғалардың эрозиясына әсер ететін тау-кен және тау жыныстары массивінің факторлары. / К. Форстер, Д. Милн, А. Поп. // Тау жыныстарының механикасы: қоғамның проблемалары мен талаптарын шешу. 2007. Б. 1361-1366 (ағылшын тілінде)*
12. *Сұлтанов М.Г. «Восход» кен орнында бекіткіштердің түрлерін және оларды тұрғызу технологияларын таңдауды әзірлеу. / М.Г. Сұлтанов, А.К. Матаев, Д.С. Кауметова, Р.М. Абдрашев, А.С. Қуантай, Б.М. Орынбаев. // Бұрыш. 2020. Б. 17-21 (ағылшын тілінде)*

## REFERENCES

1. *Urli V. A stable economic model of open slaughter to prevent dilution using foreskin construction. / V. Urli, K. Esmaili. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2016. P. 71-82 (in English)*
2. *Pytlovany M.V. Features of underground mining of high-grade iron ores in abnormal geological conditions. / M.V. Pytlovany, V.V. Russian, S.A. Zubko. // Journal of Geology, Geography and Geoecology. 2019. №28 (4). P. 706-716 (in English)*
3. *Zhang D. A study on optimizing the parameters of the cleaning face structure for steeply inclined destroyed ore bodies of medium capacity. / D. Zhang, S. Liu, J. Wang. // Mining, Metallurgy and Geological Exploration. 2022. №39 (3). P. 1099-1112 (in English)*
4. *Emad M.Z. The effect of vibrations caused by an explosion on the destruction of backfill during vertical extraction of blocks with delayed backfilling. / M.Z. Emad, H. Mitri, S. Kelly. // Canadian Geotechnical Journal. 2014. №51 (9). P. 975-983 (in English)*
5. *Petlovany M. Evaluation of the feasibility of mechanical activation of a binder in a cemented stone filling. / M. Petlovany, O. Manikin. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. №14 (20). P. 3492-3503 (in English)*
6. *Petlovany M.V. Physico-chemical mechanism of structure formation and hardening in a backfill array when filling underground cavities. / M.V. Petlovany, S.A. Zubko, V.V. Popovich, K.S. Sai. // Questions of Chemistry and Chemical Technology. 2020. P. 142-150 (in English)*

7. Delentas A. Analysis of the conditions of stability and dilution of ore during open-pit mining. / Delentas A., Bernardos A., Nomikos P. // *Mineral resources*. 2021. №11 (12). P. 1404 (in English)
8. Yu K. Numerical experimental study of ore dilution in underground mining with collapse. / K. Yu, S. Zhang, F. Ren. // *Mining, metallurgy and exploration*. 2020. №38 (1). P. 457-469 (in English)
9. Yarosh A.P. Monitoring of the cavity of an open treatment face to control the dilution and loss of ore. / A.P. Yarosh, L. Shepard. // *Mine planning and equipment selection*. 2018. P. 63-66 (in Russian)
10. Bazaluk O. Assessment of instability of overhanging wall rocks during underground mining of iron ores. / O. Bazaluk, M. Petlovany, S. Zubko, V. Lozinsky, K. Say. // *Mineral resources*. 2021. №11 (8). P. 858 (in English)
11. Forster K. Factors of mining and rock mass affecting erosion of suspended walls. / K. Forster, D. Milne, A. Pop. // *Rock Mechanics: Solving the Problems and Demands of Society*. 2007. P. 1361-1366 (in English)
12. Sultanov M.G. Development of a choice of types of supports and technologies for their construction at the Voskhod deposit. / M.G. Sultanov, A.K. Mataev, D.S. Kaumetova, R.M. Abdrashev, A.S. Kuantai, B.M. Orynbayev. // *Coal*. 2020. P. 17-21 (in English)

**Сведения об авторах:**

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

**Жунусбекова Г.Ж.**, докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [gaukhar.zhumashevna@mail.ru](mailto:gaukhar.zhumashevna@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-2842-270X>

**Зейтинова Ш.Б.**, PhD, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [zeitinova\\_rmpi@mail.ru](mailto:zeitinova_rmpi@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-3489-8969>

**Шайяхмет Т.К.**, PhD студент по специальности «Гидрогеология и Инженерная геология», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева (КазННТУ) (г. Алматы, Казахстан), [sh.tanirbergen@gmail.com](mailto:sh.tanirbergen@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-5713-4742>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

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

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

**Зейтинова Ш.Б.**, PhD, «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының доцент м.а., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Шайяхмет Т.К.**, «Гидрогеология және Инженерлік геология» мамандығы бойынша PhD студенті, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

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

**Zhunusbekova G.Zh.**, doctoral student of the NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

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

**Shaiyakhmet T.**, PhD student of Hydrogeology and Engineering Geology Specialties, K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University (Almaty, Kazakhstan)