

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 Хоэк-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 Хоэк-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. Хоэк-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, Хоэк-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/м<sup>3</sup>. 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	<b>3-10 м</b>	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	<b>1 - 5 мм</b>	> 5 мм
Рейтинг JA43	6	5	4	1	0
A4.4. Заполнитель трещин	Нет	Твердый заполнитель < 5 мм	<b>Твердый заполнитель &gt; 5 мм</b>	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 <sup>3</sup>	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 м<sup>2</sup> при 55° до 80,5 м<sup>2</sup> 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 м<sup>2</sup> при 55° м до 30,1 м<sup>2</sup> 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.

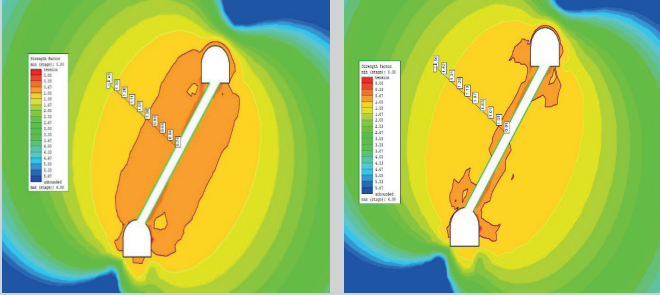
В результате численного моделирования определены площади возможных зон разрушений вокруг очистного блока для всех 16 вариантов моделей, результаты которых приведены на сводном графике (рисунок 2).

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

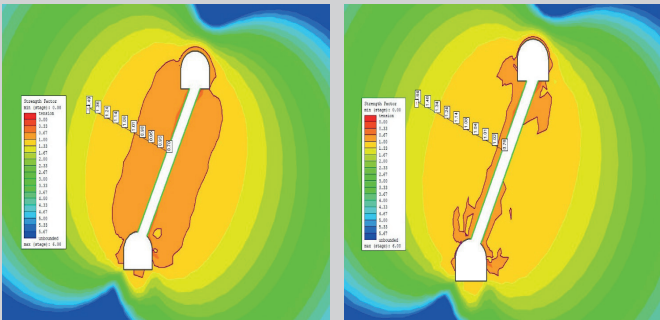
a) GSI = 48

б) GSI = 63

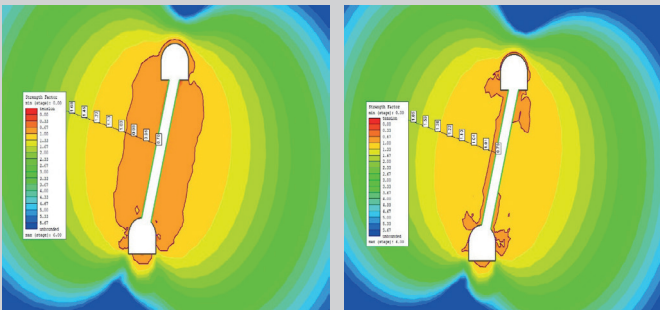
Угол падения рудного тела 55°



Угол падения рудного тела 65°



Угол падения рудного тела 75°



Угол падения рудного тела 85°

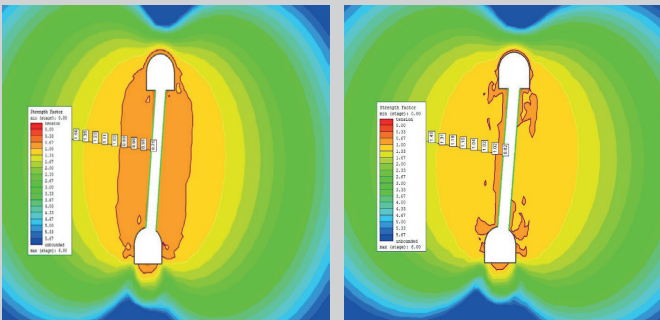


Рис. 1. Площади возможных зон разрушений при GSI = 48 и GSI = 63 при углах падения рудного тела от 55° до 85°

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°.

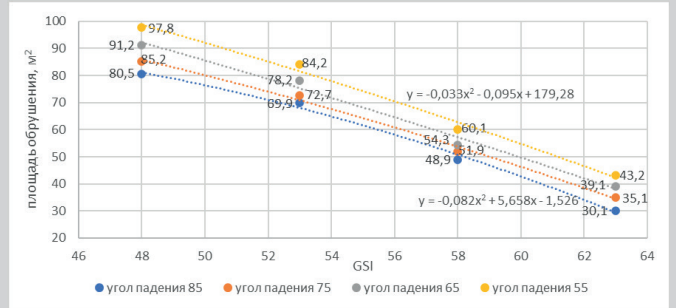


Рис. 2. График зависимости площади возможной зоны обрушения в зависимости от показателя GSI.

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.

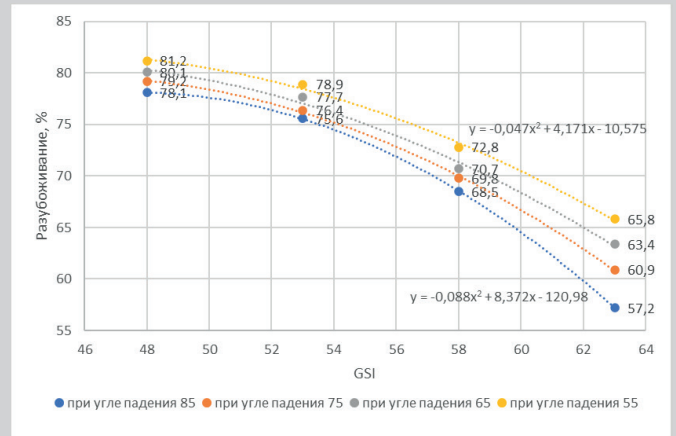


Рис. 3. График изменения прогнозных значений разубоживания руды в зависимости от GSI.

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. Ikromtwnonsa. // 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. Ikromtwnonsa. // 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 жіктелімі 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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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)

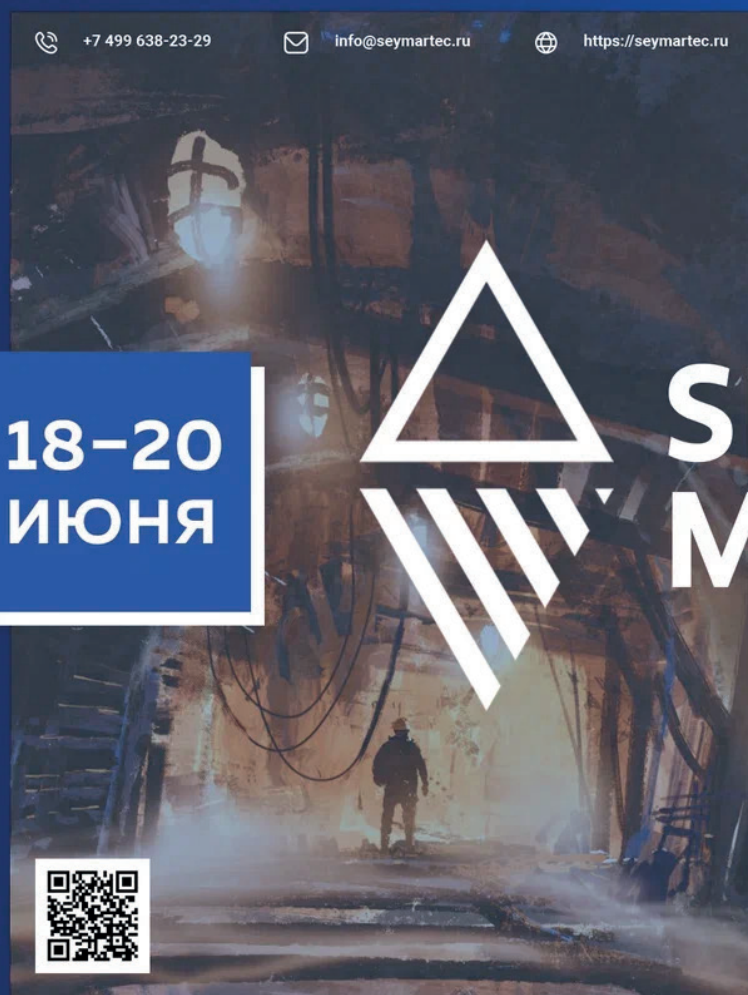
**Information about the authors:**

*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