

Код МРНТИ 52.13.25

А.М. Суимбаева¹, *А.Ж. Имашев¹, Г.Ж. Жунусбекова², А.А. Мусин¹¹Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан),
²АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова» (г. Астана, Казахстан)

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ОТРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ

Аннотация. В условиях истощения запасов полезных ископаемых возрастает актуальность разработки остаточных запасов в сложных геомеханических условиях. Существенным фактором, влияющим на устойчивость очистных выработок, является наличие ранее отработанных пространств, формирующих вторичное напряженно-деформированное состояние массива. В исследовании методом конечных элементов (RS2) проанализировано влияние межвыработочного расстояния на устойчивость выработок в зоне техногенных обнажений. Установлено, что при расстоянии менее 10 м происходит слияние зон пластических деформаций, что ведет к потере несущей способности целлика и смещению кровли и почвы. Оптимальные условия достигаются при расстоянии 20–25 м, когда коэффициент запаса прочности возрастает, а зоны пластических деформаций остаются изолированными. Полученные результаты обосновывают рациональные параметры системы разработки и позволяют оптимизировать управление горным давлением.

Ключевые слова: горная выработка, коэффициент запаса устойчивости, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование, полнота извлечения, целлик, напряжение.

Өндірілген кеністіктердің әсер ету аймақтарындағы тау-кен қазбаларының орнықтылығын бағалау

Андатпа. Пайдалы қазбалар қорының сарқылу жағдайында күрделі геомеханикалық жағдайда қалған қорларды игеру өзекті бола түсуде. Тазарту қазбаларының тұрақтылығына әсер ететін маңызды факторлардың бірі – массивтің екінші реттік кернеулі-деформацияланған күйін қалыптастыратын бұрынғы қазылған кеністіктердің болуы. Зерттеуде соңғы элементтер әдісі (RS2) арқылы техногендік ашылымдар аймағындағы қазбалардың тұрақтылығына аралық қашықтықтың ықпалы талданды. 10 м-ден аз қашықтықта пластикалық деформация аймақтарының қосылуы байқалып, бұл целликтің көтергіш қабілетін жоғалтуына және қазбалардың төбе мен табанының ығысуына әкелетіні анықталды. 20–25 м аралықта оңтайлы жағдай қалыптасады: беріктік қоры коэффициенті артып, пластикалық деформация аймақтары оқшауланған күйде қалады. Алынған нәтижелер жүйелі игеру параметрлерін ғылыми негіздеуге және тау-кен қысымын басқаруды оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: тау-кен қазбасы, орнықтылық коэффициенті, кернеулі-деформациялық күй, сандық модельдеу, қазып алу толықтығы, кентірек, кернеу.

Assessment of mine working stability in the zone of influence of mined-out areas

Abstract. In the context of mineral resource depletion, the development of residual reserves under complex geomechanical conditions becomes increasingly relevant. A significant factor influencing the stability of stopes is the presence of previously mined-out areas, which form a secondary stress-strain state of the rock mass. In this study, the finite element method (RS2) was used to analyze the effect of inter-excitation distance on the stability of workings within the influence zone of man-made openings. It was found that at distances of less than 10 m, plastic deformation zones merge, leading to the loss of the pillar's load-bearing capacity and displacements of the roof and floor. Optimal conditions are achieved at distances of 20–25 m, where the factor of safety increases and the plastic deformation zones remain isolated. The obtained results provide a scientific basis for rational design parameters of the mining system and allow optimization of ground pressure control.

Key words: excavation, safety factor, stress-strain state, numerical modeling, pillar, stress, recovery ratio.

Введение

Несмотря на значительные запасы, многие крупные горнодобывающие предприятия уже сейчас сталкиваются с проблемой истощения высококачественных запасов полезных ископаемых. Это обстоятельство закономерно ведет к необходимости вовлечения в отработку запасов руды с низким содержанием, а также тех запасов, которые ранее были оставлены в участках со сложной геомеханической обстановкой, особенно в зонах сдвижения горных пород.

В условиях истощения легкодоступных ресурсов все чаще возникает необходимость разработки рудных тел, расположенных вблизи отработанных пространств, в сложных геомеханических условиях. Одной из ключевых проблем при этом является обеспечение устойчивости очистных выработок и повышение полноты извлечения руд.

Влияние ранее отработанных участков на новые очистные выработки проявляется в перераспределении и концентрации напряжений, формировании вторичных зон сдвижения, обрушения и неупругих деформаций в массиве горных пород. Это может привести к снижению устойчивости горных выработок, увеличению потерь руды и рисков для безопасности персонала. Решение данной проблемы требует комплексного подхода, включающего геомеханическое моделирование, адаптацию технологических схем и внедрение методов управления горным давлением.

Цель данной статьи – изучение влияния отработанных пространств на устойчивость очистных выработок при последующей отработке остаточных запасов, а также опре-

деление эффективных геотехнологических решений, обеспечивающих безопасность работ и повышение полноты извлечения руд.

Методика

Проходка горных выработок, особенно в зоне влияния очистного пространства, всегда приводит к перераспределению исходного поля напряжений, в результате чего формируется вторичное поле напряжений. Это вторичное поле характеризуется концентрацией напряжений в одних зонах и их разгрузкой в других, что напрямую влияет на устойчивость породного массива [1, 2]. Одним из примеров служит исследование, проведенное на угольной шахте Xinyi (Китай) [3], где изучалась устойчивость проезжей части откатной дорожки. Для анализа использовался комплексный подход, включающий теоретические методы, численное моделирование и инженерные наблюдения. Установлено, что при развитии горных работ в прилегающем забое угольной выработки породы разрушались и дробились на блоки. Это сопровождалось перераспределением напряжений и возрастанием деформаций окружающей породы проезжей части выработки.

В статье [4] рассматривается проблема снижения устойчивости подготовительных и эксплуатационных выработок в калийных рудниках при ведении очистных работ. Очистные работы оказывают существенное влияние на устойчивость выработок калийных рудников, при проектировании необходимо учитывать зоны перераспределения напряжений и использовать комплексный подход.

Одним из ключевых недостатков при обосновании параметров устойчивости породных обнажений в приконтурной части массива является недостаточная изученность геомеханических процессов, происходящих в этих условиях. Это связано с тем, что существующие модели описания геомеханических процессов, происходящих вблизи техногенных обнажений, не всегда корректно отражают реальные размеры и формы зон неупругих деформаций, что может приводить к недооценке рисков и неоптимальным проектным решениям. Таким образом, углубленное исследование геомеханики в условиях освоения низкосортных руд в зонах сдвижения пород является актуальной научной и практической задачей.

В краевых частях отработанных пространств формируются зоны повышенных напряжений, что может привести к внезапным выбросам породы и руды, особенно при разработке глубокозалегающих месторождений [5, 6, 7].

– В результате деформаций сдвижения и обрушения пород кровли образуются зоны с нарушенной структурой и пониженной несущей способностью, что снижает устойчивость прилегающих выработок.

– Процессы ползучести и длительной деформации в ослабленном массиве могут продолжаться в течение длительного времени после окончания отработки, оказывая влияние на новые очистные работы.

– Образование трещин и нарушение сплошности массива могут привести к изменению режима подземных вод, увеличению водопритоков и рискам затопления выработок.

Эти факторы в совокупности создают сложные условия для ведения горных работ, требующие применения специальных мер по обеспечению устойчивости и безопасности.

Примером практического решения задачи отработки в сложных геомеханических условиях является исследование, выполненное на панели E13103 угольной шахты Cuijiazhai (Китай) [8]. В работе была проанализирована ситуация сближения длинного очистного забоя с зоной подготовительных выработок. Для оценки состояния устойчивости выработок применялся комплексный подход, включающий теоретический анализ и численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ). Расчеты проводились при различных расстояниях между очистным забоем и выработками: 70, 50, 30, 20, 10 и 5 м.

Установлено, что зона перераспределения напряжений распространялась на 40–45 м впереди забоя. Наиболее критический этап был зафиксирован при сокращении расстояния от 10 до 5 м. В этот момент происходило резкое снижение напряжений в приконтурной зоне забоя, что свидетельствовало о переходе массива в пластическое состояние и утрате несущей способности.

Исследования, выполненные учеными Японии и Китая, также подтверждают значительное влияние выработанного пространства на состояние сближенных выработок [9]. Основные деформации фиксировались в кровле выработок. Наиболее неблагоприятная ситуация возникает при залегании прочного и мощного слоя кровли: в этом случае разрушение не развивается, но наблюдается интенсивная концентрация напряжений, что повышает риск внезапных обрушений.

С целью установления влияния ранее отработанного пространства на формирование напряженно-деформированного состояния массива в зоне новых очистных выработок был выполнен численный анализ с использованием программного комплекса RS2. В расчетной схеме (рис. 1) рассматривалось отработанное пространство высотой 30 м и шириной 15 м, а также проектируемая очистная выработка с размерами 10×6 м. В качестве варьируемого параметра принималось расстояние между ними, которое изменялось в диапазоне от 5 м до 25 м. Модель учитывает упругопластическое поведение массива с моделью разрушения Хоека-Брауна [10].

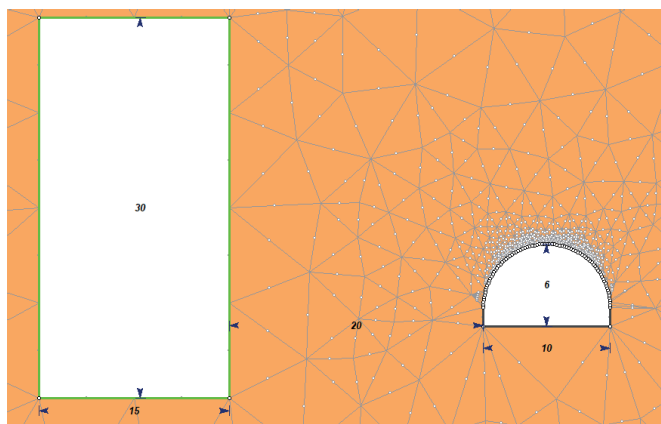


Рис. 1. Схема численного моделирования.

Сурет 1. Сандық моделдеу схемасы.

Figure 1. Numerical modeling scheme.

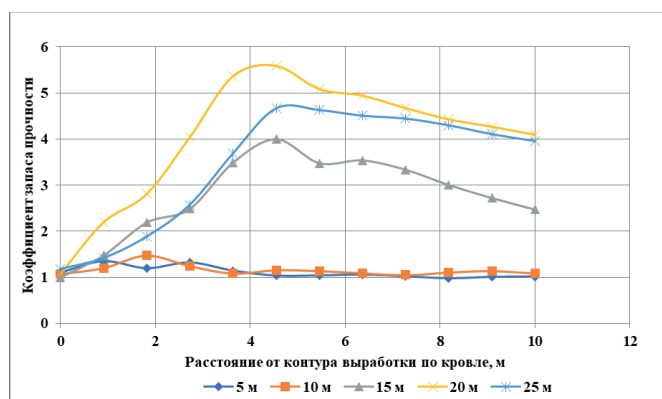


Рис. 2. Изменение коэффициента запаса прочности по кровле.

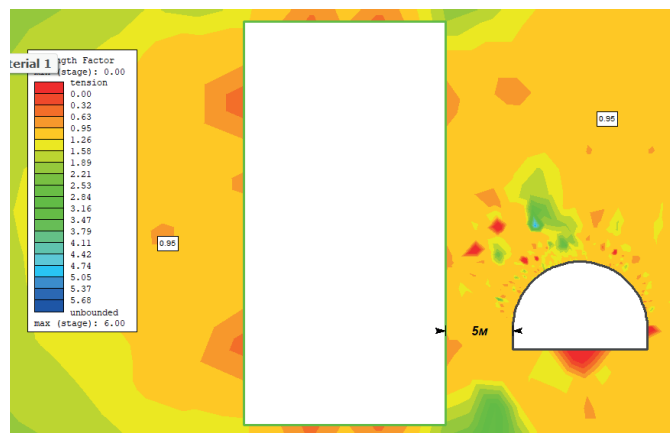
Сурет 2. Қазба төбесі бойынша тұрақтылық қорының өзгеруі.

Figure 2. Variation of stability factor along roof.

Результаты и их обсуждения

Анализ полученных результатов показывает, что при межвыработочном расстоянии 5 м кровля новой выработки испытывает максимальные вертикальные смещения, величина которых в несколько раз превышает значения в условиях значительного удаления отработанного пространства. При этом наблюдаются смещения почвы во внутрь выработки, что указывает на формирование интенсивной зоны деформаций в непосредственной близости от

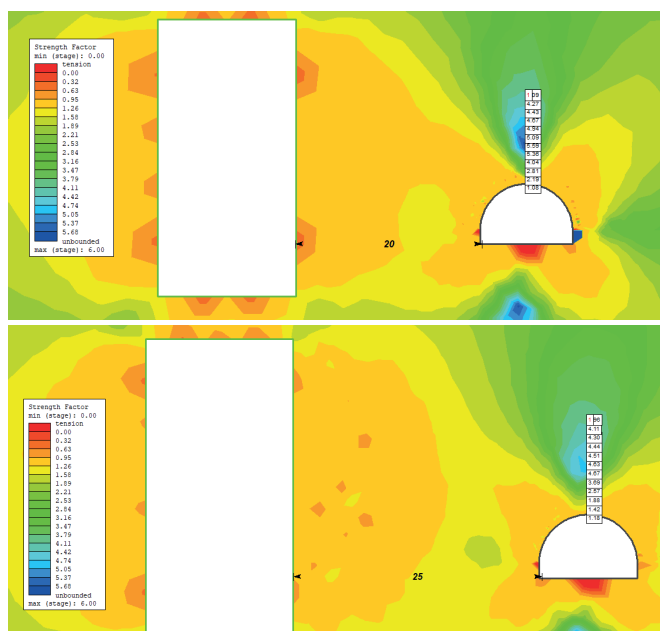
выработанного пространства. Коэффициент запаса прочности в данных условиях колеблется около единицы, что свидетельствует о потере устойчивости (рис. 2, 3). Анализ распределения пластических деформаций свидетельствует о полном взаимодействии зон разрушения вокруг обеих выработок. Их слияние приводит к формированию единого деформированного контура, что указывает на потерю целостности межблокового целика. В результате он теряет несущую способность и не обеспечивает изоляцию зон влияния смежных выработок, что приводит к объединению их напряженных полей.



**Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние массива при межвыработочном расстоянии 5 м.
Сурет 3. Қазбалар арақашықтығы 5 м болғандағы массивтің кернеулі-деформацияланған күйі.
Figure 3. Stress-strain state of the rock mass at an inter-opening distance of 5 m.**

При расстоянии 10 м амплитуда смещений кровли уменьшается, однако влияние отработанного пространства по-прежнему распространяется на контур новой выработки. Коэффициент запаса прочности остается на низком уровне (около 1–1,2), что указывает на сохраняющийся риск потери устойчивости. Зоны пластических деформаций в этих условиях частично перекрываются, а целик работает в ослабленном режиме, воспринимая нагрузку лишь частично. Это приводит к существенному снижению его несущей способности и создает предпосылки для дальнейшего ухудшения состояния массива.

При межвыработочном расстоянии 15 м формируется более благоприятная картина напряженно-деформированного состояния массива. Вертикальные смещения кровли снижаются до допустимого уровня, величина ее смещения остается незначительной, а смещения в почве выработки незначительны. Коэффициент запаса прочности возрастает до 3–4, что соответствует устойчивому состоянию массива. Анализ полей пластических деформаций показывает, что зоны пластики становятся изолированными, в результате чего целик сохраняет несущую способность и эффективно перераспределяет нагрузки. Таким образом, при расстоянии 15 м обеспечивается достаточный запас устойчивости и создаются благоприятные условия для безопасного ведения очистных работ.



**Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние массива при межвыработочном расстоянии 20 м и 25 м.
Сурет 4. Қазбалар арақашықтығы 20 м және 25 м болғандағы массивтің кернеулі-деформацияланған күйі.
Figure 4. Stress-strain state of the rock mass at inter-opening distances of 20 m and 25 m.**

Наиболее устойчивое состояние массива фиксируется при расстоянии 20–25 м (рис. 4). Приближение кривой к максимальным значениям связано с перераспределением напряжений: очистное пространство не оказывает критического воздействия, а выработка формируется в относительно ненарушенной зоне массива. При этом зоны пластических деформаций полностью разделены, целик сохраняет упругое состояние и выполняет роль надежного несущего элемента, обеспечивающего устойчивость смежных выработок. Следует отметить, что после достижения локального максимума коэффициент прочности постепенно снижается и стабилизируется на уровне 4–5, что связано с восстановлением естественного напряженного состояния массива на удалении от контура выработки.

Результаты численного моделирования позволили установить, что критическим значением для расстояния между выработанным пространством и новой очистной выработкой является величина менее 10 м. В данном случае наблюдается полное взаимное слияние зон пластических деформаций, что провоцирует развитие недопустимых по величине смещений кровли и почвы и, как следствие, полную потерю несущей способности междублокового целика.

Увеличение межвыработочного расстояния до интервала 20–25 м способствует стабилизации напряженно-деформированного состояния массива. Данный режим характеризуется существенным снижением деформаций до технологически допустимых значений, повышением коэффициента запаса прочности и сохранением целостности и функциональной состоятельности межблокового целика.

Выводы

На основании проведенного численного моделирования установлены критические параметры взаимного расположения горных выработок в условиях нарушенного массива. Результаты исследования демонстрируют существенную зависимость устойчивости породного массива от расстояния между выработанным пространством и новой очистной выработкой.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что при уменьшении межвыработочного расстояния менее 10 м происходит взаимодействие зон пластических деформаций, окружающих смежные выработки. Этот процесс приводит к формированию единого деформированного контура, потере несущей способности целика и развитию смещений породных обнажений.

Определен оптимальный диапазон межвыработочных расстояний 20–25 м, обеспечивающий благоприятное напряженно-деформированное состояние массива. В указанном диапазоне наблюдается изолированный характер зон пластических деформаций, повышение коэффициента запаса прочности до значений 4–5 и сохранение функциональной состоятельности целика.

Благодарность

Статья опубликована в рамках конкурса на грантовое финансирование по научным, научно-техническим программам на 2025–2027 годы (ИРН-АР26103015), при финансировании Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Imashev A. Определение напряженно-деформированного состояния массива горных пород и зоны неупругой деформации вокруг подземной горной выработки с использованием современных методов численного моделирования // Journal of Sustainable Mining. 2021. № 3. С. 220–227 (на английском языке)*
2. *Исследование устойчивости горных выработок в зоне влияния очистных работ при повторной разработке месторождения / Жиенбаев А.Б. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2023. № 5. С. 40–46 (на русском языке)*
3. *Контроль устойчивости выработки у выработанного пространства при отработке соседнего очистного забоя / Yang H. [и др.] // Sustainability. 2019. Вып. 11. С. 18 (на английском языке)*
4. *Оценка влияния очистных работ на устойчивость горных выработок калийного рудника / Морозов И.А. [и др.] // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2024. Вып. 1. С. 226–237 (на русском языке)*
5. *Renaud V. Численное исследование формирования зоны нарушений вокруг глубокой горной выработки полиметаллического рудника // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Elsevier BV. 2018. Вып. 106. С. 165–175 (на английском языке)*
6. *Исследование возможных зон неупругих деформаций горных пород на глубоких горизонтах / Имашев А.Ж. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2024. № 8. С. 42–47 (на русском языке)*
7. *Исследование геомеханической ситуации в массиве горных пород в зоне влияния очистных работ в условиях шахты Хромтауского месторождения / Матаев А.Қ. [и др.] // Труды КарГТУ. 2020. № 1. С. 53–57 (на русском языке)*
8. *Распределение опорного давления при отработке лавы через заброшенные выработки / Li Y. [и др.] // International Journal of Mining Science and Technology. 2019. Т. 29 (1). С. 59–64 (на английском языке)*
9. *Контроль устойчивости оставляемого штрека у выработанного пространства при различных условиях кровли в глубоких подземных лавных выработках Y-типа / Zhang Z. [и др.] // Sustainability. 2017. Т. 9. С. 19 (на английском языке)*
10. *Hoek E., Brown E.T. Критерий прочности Хука-Брауна и индекс геологической прочности (GSI) – 2018 edition // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2019. Т. 11. С. 445–463 (на английском языке)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Имашев А. Жерасты қазбасының айналасындағы тау жыныстарының кернеулі-деформациялық күйін және серпімді емес деформация аймағын заманауи сандық модельдеу әдістерімен анықтау // Journal of Sustainable Mining. 2021. № 3. Б. 220–227 (ағылшын тілінде)*
2. *Қайта игеру жағдайында тазарту жұмыстарының әсер ету аймағындағы тау-кен қазбаларының орнықтылығын зерттеу / Жиенбаев А.Б. [және т. б.] // Қазақстанның тау-кен журналы. 2023. № 5. Б. 40–46 (орыс тілінде)*
3. *Жерасты шахтасында көршілес көмір қабатын игеру әсерінен пайда болған тау-кен бұзылыстары жағдайында қаптал штректің орнықтылығын басқару / Yang H. [және т. б.] // Sustainability. 2019. Т. 11. Б. 18 (ағылшын тілінде)*
4. *Калий кенішіндегі тазарту жұмыстарының тау-кен қазбалары орнықтылығына әсерін бағалау / Морозов И.А. [және т. б.] // ТулГУ Жаңалықтары. Жер туралы ғылымдар. 2024. № 1. Б. 226–237 (орыс тілінде)*
5. *Renaud V. Терен полиметалл кенішінде қазба жанындағы бүлінген аймақтың дамуын сандық зерттеу // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Elsevier BV. 2018. Б. 165–175 (ағылшын тілінде)*
6. *Мусин А.А., Ескенова Г.Б., Жунусбекова Г.Ж. Терең горизонттардағы тау жыныстарының серпімді емес деформация аймақтарын зерттеу / Имашев А.Ж. [және т. б.] // Қазақстанның тау-кен журналы. 2024. № 8. Б. 42–47 (орыс тілінде)*
7. *Хромтау кенішіндегі тазарту жұмыстары әсер ету аймағындағы тау жыныстары массивінің геомеханикалық жағдайын зерттеу / Матаев А.Қ. [және т. б.] // ҚарМТУ университетінің еңбектері. 2020. № 1. Б. 53–57 (орыс тілінде)*

8. Тасталған қазбалар арқылы ұзын қазба фронтын жүргізгенде тірек қысымының таралуы / Li Y. [және т. б.] // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. Т. 29 (1). Б. 59–64 (ағылшын тілінде)
9. Терең жерасты шахталарындағы әртүрлі шатыр жағдайларында қалдырылған қаптал штректің орнықтылығын басқару / Zhang Z. [және т. б.] // *Sustainability*. 2017. Т. 9. Б. 19 (ағылшын тілінде)
10. Hoek E., Brown E.T. Hoek-Brown беріктік критерийі және GSI – 2018 басылымы // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019. Т. 11. Б. 445–463 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Imashev A. Determination of the stress-strain state of rock mass and zone of inelastic deformation around underground mine excavation using modern methods of numerical modelling // *Journal of Sustainable Mining*. 2021. No. 3. 220–227 pp. (in English)
2. Issledovanie ustoichivosti gornyykh vyrabotok v zone vliyaniya ochistnykh rabot pri povtornoй razrabotke mestorozhdeniya [Study of the stability of mine workings in the influence zone of stoping operations during repeated mining], Zhiyenbaev A.B. [et al.], *Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]*. 2023. No. 5. 40–46 pp. (in Russian)
3. Stability control of a goaf-side roadway under the mining disturbance of an adjacent coal working face in an underground mine / Yang H. [et al.] // *Sustainability*. 2019. V. 11. 18 p. (in English)
4. Otsenka vliyaniya ochistnykh rabot na ustoichivost' gornyykh vyrabotok kaliinogo rudnika [Assessment of the impact of stoping operations on the stability of mine workings in a potash mine], Morozov I.A. [et al.], *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle [News of TulsU. Earth Sciences]*. 2024. Issue 1. 226–237 pp. (in Russian)
5. Renaud V. Numerical investigation of the development of the excavation damaged zone around a deep polymetallic ore mine // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Elsevier BV. 2018. 165–175 pp. (in English)
6. Issledovanie vozmozhnykh zon neuprugikh deformatsii gornyykh porod na glubokikh gorizontakh [Study of possible zones of inelastic deformation of rocks at deep horizons], Imashev A.Zh. [et al.], *Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]*. 2024. No. 8. 42–47 pp. (in Russian)
7. Issledovanie geomekhanicheskoi situatsii v massive gornyykh porod v zone vliyaniya ochistnykh rabot v usloviyakh shakhty Khromtauskogo mestorozhdeniya [Study of the geomechanical situation in the rock mass in the influence zone of stoping operations under the conditions of the Khromtau deposit mine], Mataev A.K. [et al.], *Trudy KarGTU [Proceedings of the KarGTU]*. 2020. No. 1. 53–57 pp. (in Russian)
8. Abutment pressure distribution for longwall face mining through abandoned roadways / Li Y. [et al.] // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. V. 29 (1). 59–64 pp. (in English)
9. Stability control of retained goaf-side gateroad under different roof conditions in deep underground Y-type longwall mining / Zhang Z. [et al.] // *Sustainability*. 2017. V. 9. 19 p. (in English)
10. Hoek E., Brown E.T. The Hoek-Brown failure criterion and GSI – 2018 edition // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019. V. 11. 445–463 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Суймбаева А.М., Ph.D, и. о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Қарағандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Қарағанда, Қазақстан), a.suimbaeva@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-6582-9977>

Имашев А.Ж., Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Қарағандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Қарағанда, Қазақстан), a.imashev@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-9799-8115>

Жунусбекова Г.Ж., ст. преподаватель кафедры «Химия, химическая технология и экология», Қазақский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова (г. Астана, Қазақстан), gaukhar.zhumashevna@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2842-270X>

Мусин А.А., Ph.D, и. о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Қарағандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Қарағанда, Қазақстан), a.musin@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-6318-9056>

Авторлар туралы мәліметтер:

Суймбаева А.М., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасының доцент м. а., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Имашев А.Ж., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Жунусбекова Г.Ж., «Химия, химиялық технология және экология» кафедрасының аға оқытушысы, Қ. Құлажанов атындағы қазақ технология және бизнес университеті (Астана қ., Қазақстан)

Мусин А.А., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасының доцент м. а., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

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

Imashev A., Ph.D, Associate Professor of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Zhumusbekova G., Senior lecturer of the Department of «Chemistry, Chemical Technology and Ecology» K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business (Astana, Kazakhstan)

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