

Код МРНТИ 52.13.17:52.13.04

А.Ж. Имашев¹, *Г.Т. Нуршайыкова², Ш.Б. Зейтинова¹, З.К. Тунгушбаева³¹Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан),²Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан),³Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья РК, ВНИИцветмет (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ И ОСНОВАНИЯ ОТВАЛА НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. Статья посвящена исследованиям устойчивости конструкций отвала, включая его основания и борта, с применением численных методов, в частности метода конечных элементов. В статье анализируются факторы, влияющие на устойчивость откосов, при этом особое внимание уделяется методам математического моделирования и инженерным расчетам. Был осуществлен численный анализ с применением метода конечных элементов в программном обеспечении RS-2, с целью оценки коэффициента запаса устойчивости откосов отвала. Проведены исследования по анализу паспортов прочности горных пород с учетом критериев разрушения, представленных в модели Кулона-Мора. Цель работы заключалась в качественном переходе от свойств образцов к характеристикам нетронутого массива горных пород. В результате выполненных исследований были получены результаты, которые могут быть использованы для оптимизации проектирования откосов отвалов, повышения их безопасности и защиты окружающей среды.

Ключевые слова: отвал, угол внутреннего трения, техногенные образования, коэффициент запаса устойчивости, породы, трещиноватость, угол падения откоса.

Шекті элементтер әдісіне негізделген үйінді беткейлері мен табанын орнықтылығын сандық талдау

Андатпа. Мақала үйінді беткейлерінің оптималды бұрыштарын негіздеу үшін қажетті геомеханикалық аспектілерге арналған. Зерттеу барысында беткейлердің тұрақтылығына әсер ететін факторлар талданады, мұнда математикалық модельдер және инженерлік есептеулер әдістеріне ерекше назар аударылады. Зерттеу барысында RS-2 бағдарламалық қамтамасыз етуге шекті элементтер әдісін қолдана отырып, үйінді беткейлерінің орнықтылық қор коэффициентін бағалау үшін сандық талдау жүргізілді. Кулон-Мора моделінде ұсынылған бұзылу критерийлерін ескере отырып, тау жыныстарының беріктігі паспорттарын талдау бойынша зерттеулер жүргізілді. Жұмыстың мақсаты үлгілердің қасиеттерінен тау жыныстарының бүлінбеген массивінің сипаттамаларына сапалы өтуді қамтамасыз ету болды. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде алынған нәтижелер үйінді беткейлерін жобалауды оңтайландыру, олардың қауіпсіздігін арттыру және қоршаған ортаны қорғау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: үйінді, ішкі үйкеліс бұрышы, техногенді құрылымдар, орнықтылық қор коэффициенті, жыныстар, жарықшақтылық, беткейдің құлау бұрышы.

Numerical analysis of the stability of slopes and foundations of dumps based on the finite element method

Abstract. The article is devoted to studies of the stability of the dump structures, including its bases and sides, using numerical methods, in particular the finite element method. The article analyzes the factors affecting the stability of slopes, with special attention being paid to methods of mathematical modeling and engineering calculations. A numerical analysis was carried out using the finite element method in the RS-2 software in order to estimate the coefficient of stability of the slope of the dump. Studies have been conducted on the analysis of rock strength certificates, taking into account the fracture criteria presented in the Coulomb-Mohr model. The aim of the work was to make a qualitative transition from the properties of the samples to the characteristics of an intact rock mass. As a result of the performed research, results were obtained that can be used to optimize the design of dump slopes, increase their safety and protect the environment.

Key words: dump, internal friction angle, technogenic formations, stability safety factor, rocks, fissuring, slope angle.

Введение

Борта, откосы и отвалы как основные элементы открытой динамической системы карьера изменяются в пространстве и во времени. Состояние массива горных пород зависит как от естественных, так и техногенных факторов, представленных на рис. 1 [1].

Как и устойчивость откосов природных сооружений, устойчивость откосов отвала в значительной степени зависит от изменения сопротивления сдвигу под воздействием различных факторов. Во ВНИИ под руководством профессора Г.Л. Фисенко были разработаны «Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов, строящихся и эксплуатируемых карьеров» и «Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости» [2].

Решающее влияние на сопротивление сдвигу оказывает влажность породы. Наблюдения показывают, что влажность породы в отвалах часто значительно выше естественной [3]. Дополнительными источниками влаги в породе являются атмосферные и грунтовые воды, скапливающиеся в рабочей зоне отвала при неорганизованном дренаже, атмосферные и грунтовые воды, скапливающиеся в понижениях основания отвала, а также осадки, выпадающие на поверхность отвала.



Рис. 1. Факторы, влияющие на устойчивость откосов и бортов карьера и отвалов.

Сурет 1. Карьер мен үйінділердің беткейлері мен бүйірлерінің тұрақтылығына әсер ететін факторлар.
Figure 1. Factors affecting the stability of slopes and sides of quarries and dumps.

В настоящее время большинство отвалов подвержено различным видам деформаций – от мелких трещин

до крупных оползней. По классификации профессора М.Е. Певзнера, на устойчивость отвалов влияют два основных фактора – природные и горнотехнические. Классификация Н.В. Мельникова учитывает большинство факторов, влияющих на отвалообразование: местоположение относительно карьера, число рабочих ярусов, способ механизации, число обслуживаемых вскрышных участков, рельеф местности, топография отвала [4].

Устойчивость отвалов является предметом длительных исследований в области проектирования откосов.

Механические свойства основания отвала являются внутренним влияющим фактором и не могут быть искусственно изменены, особенно мягкого фундамента с низкой несущей способностью. Под действием давления сыпучего материала откос отвала может скользить по гладкому основанию, что еще больше приведет к обрушению и вызовет регрессивный оползень. Обрушение склона откоса является неизбежным аспектом экономического проектирования откосов отвалов в горнодобывающей промышленности. Крупные оползни произошли на южном отвале карьера Antaibao Opencast Mine, восточном отвале карьера Pingshuo Opencast Mine, внешнем отвале на лигнитовой шахте South Field в Северной Греции, отвале Jianshan железного рудника Lanjian и т.д. из-за недостаточной несущей способности фундаментов, что представляет собой серьезную угрозу безопасности карьера и устойчивой эксплуатации. Следовательно, необходимо систематически изучать несущую способность фундамента, чтобы обеспечить безопасность и устойчивость отвалов [5, 6].

Методика исследований

Для успешного решения инженерных задач в области горного дела, помимо качественного анализа геомеханических процессов, требуется и их количественная оценка. Эта оценка может быть выполнена как на основе полевых замеров различных проявлений геомеханических процессов, так и через моделирование этих процессов с использованием современных компьютерных технологий. Кроме того, важно учитывать влияние различных факторов, таких как геологические и гидрогеологические условия, механические свойства горных пород и динамика воздействия на них. Анализ этих аспектов позволит более точно прогнозировать поведение геомеханических систем и принимать обоснованные решения при проектировании горных работ.

Более точные результаты по поставленной задаче могут быть достигнуты, если используемая расчетная схема и метод решения изначально учитывают все важные для исследования факторы. Наибольшую эффективность демонстрируют метод конечных элементов (МКЭ) и метод предельного равновесия (МПР). Эти методы позволяют глубже анализировать сложные системы, а также учитывать нелинейные свойства материалов, различные нагрузочные условия и геометрические особенности исследуемых объектов. МКЭ, например, предоставляет гибкость в моделировании сложных форм и неоднородностей, тогда как МПР помогает оценить устойчивость и безопасность сооружений при различных предельных состояниях [7].

В целом, использование этих методов значительно повышает точность и достоверность расчетов, что особенно важно в инженерной практике и научных исследованиях.

Анализ устойчивости бортов отвала был проведен с использованием метода конечных элементов в программном обеспечении RS-2 [8]. Результаты анализа включают в себя визуализацию распределения напряжений и деформаций, а также рекомендации по оптимизации проектирования для повышения устойчивости бортов отвала.

В условиях лаборатории были проведены испытания на растяжение, а также тесты на одноосное и трехосное сжатие горных пород. В результате этих исследований были определены такие характеристики, как модуль Юнга, плотность, влажность, сцепление и угол внутреннего трения [9]. Эти параметры важны для понимания механических свойств материалов и их поведения под воздействием различных нагрузок.

По результатам лабораторных исследований были определены относительные продольные и поперечные деформации (рис. 2) и построены паспорта прочности горных пород по критерию разрушения Кулон-Мора (рис. 3).

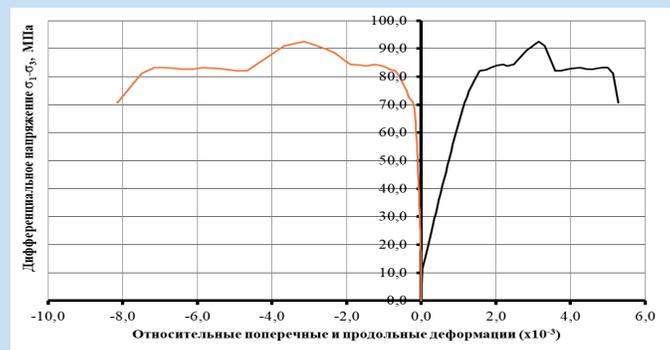


Рис. 2. Результаты испытаний по определению относительных продольных и поперечных деформаций.

Сурет 2. Салыстырмалы бойлық және көлденең деформацияларды анықтау бойынша сынақ нәтижелері.

Figure 2. Results of the test to determine the relative longitudinal and transverse deformations.

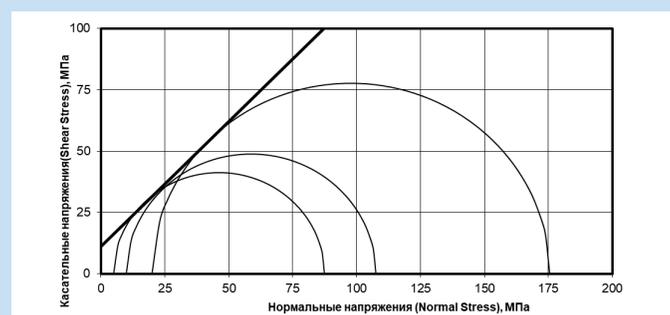


Рис. 3. Паспорт прочности горных пород.

Сурет 3. Тау жыныстарының беріктігі паспорты.

Figure 3. Rock strength data sheet.

Паспорта прочности горных пород разрабатываются с целью корреляции лабораторных испытаний и обеспе-

Коррелированные прочностные свойства горных пород

Таблица 1

Тау жыныстарының корреляциялық беріктік қасиеттері

Кесте 1

Correlated strength properties of rocks

Table 1

Паспорт прочности №	Всестороннее эффективное напряжение, МПа	Вертикальное эффективное напряжение, МПа	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.
1	5	87,5	10,95	45,56
	10	107,67		
	20	175,42		
2	5	76,33	16,50	35,73
	10	113,12		
	20	136,98		
3	5	79,31	23,14	29,24
	10	129,35		
	20	130,06		
4	5	112,5	8,67	57,50
	10	185,95		
	20	291,95		
5	5	205,91	15,42	59,88
	10	219,47		
	20	402,06		

чения качественного перехода от физических свойств образца к характеристикам массива горных пород. В рамках создания паспорта прочности были определены значения сцепления и угла внутреннего трения для различных типов горных пород. Эти результаты были систематизированы и представлены в таблице 1. Данные из таблицы позволяют проводить анализ и прогнозировать поведение горных пород при различных геологических условиях, что является важным для проектирования инженерных сооружений и оценки устойчивости горных массивов.

Результаты

При расчете использовались следующие параметры откосов ярусом отвалов и рудных складов:

- высота уступа – 10 м;
- ширина бермы – 10 м;
- угол – 35 градусов;
- генеральный угол – 21, 22, 24, 28 и 30 градусов.

На ниже представленных иллюстрациях (рис. 4 и рис. 5) показаны результаты расчетов, выполненных с использованием метода конечных элементов в программном обеспечении RS-2.

Остальные результаты численного моделирования, касающегося оценки коэффициента запаса устойчивости как бортов отвала, так и основания представлены в таблице 2.

Минимально необходимый коэффициент запаса устойчивости для обеспечения общей устойчивости отвала,

согласно исследованиям Рида и Стейси, составляет 1,3. Это значение позволяет гарантировать устойчивость конструкций и предотвращает их разрушение в условиях различных внешних воздействий. Важно учитывать, что для достижения стабильности отвала необходимо не только соблюдать данный коэффициент, но и проводить регулярные мониторинги состояния конструкции, а также учитывать геологические и атмосферные факторы, которые могут повлиять на его устойчивость [10].

Максимально допустимое смещение по основанию составляет 1,0 м. Водоизмещение более 1,0 м считается значительным и требует дальнейшей рекультивации. Смещение более 1,0 м считается значительным и требует дальнейшей рекультивации.

На основе исследования физико-механических характеристик массива горных пород и результатов численного анализа, выполненного методом конечных элементов, была построена логарифмическая зависимость, представленная на рис. 6, между коэффициентом запаса устойчивости и двумя ключевыми параметрами: генеральным углом откоса и высотой отвала. Данная зависимость иллюстрирует, как изменение этих факторов влияет на устойчивость откосов, что является собой значимый аспект для проектирования и ведения горных работ.

Логарифмическая зависимость устанавливается с использованием метода наименьших квадратов (МНК), который заключается в минимизации суммы квадратов отклонений между наблюдаемыми данными и значениями,

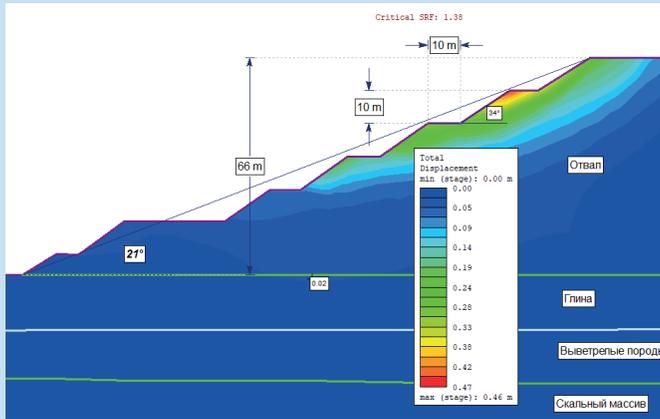


Рис. 4. Результаты численного моделирования при генеральном угле 21 градусов.
Сурет 4. Басты бұрышы 21 градус шамасында сандық модельдеу нәтижелері.
Figure 4. Results of numerical simulation at a general angle of 21 degrees.

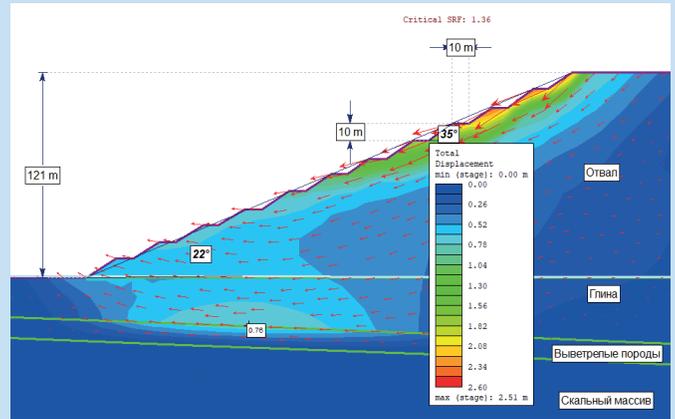


Рис. 5. Результаты численного моделирования при генеральном угле 22 градусов.
Сурет 5. Басты бұрышы 22 градус шамасында сандық модельдеу нәтижелері.
Figure 5. Results of numerical simulation at a general angle of 22 degrees.

Таблица 2

Сводная таблица результатов расчета на основе метода конечных элементов

Кесте 2

Шекті элементтер әдісіне негізделген есептеу нәтижелерінің жиынтық кестесі

Table 2

Summary table of calculation results based on the finite element method

Секторы	КЗУ/FoS	Смещения оснований (м)	Примечание
Сектор 1	1,46	0,06	Приемлемый КЗУ, незначительные смещения
Сектор 2	1,12	0,01	Критический КЗУ, незначительные смещения
Сектор 3	1,37	0,02	Приемлемый КЗУ, незначительные смещения
Сектор 4	1,36	0,76	Приемлемый КЗУ, незначительные смещения
Сектор 5	1,19	0,24	Критический КЗУ, незначительные смещения
Сектор 6	1,34	0,51	Приемлемый КЗУ, незначительные смещения
Сектор 7	1,18	0,01	Критический КЗУ, незначительные смещения
Сектор 8	1,37	0,02	Приемлемый КЗУ, незначительные смещения

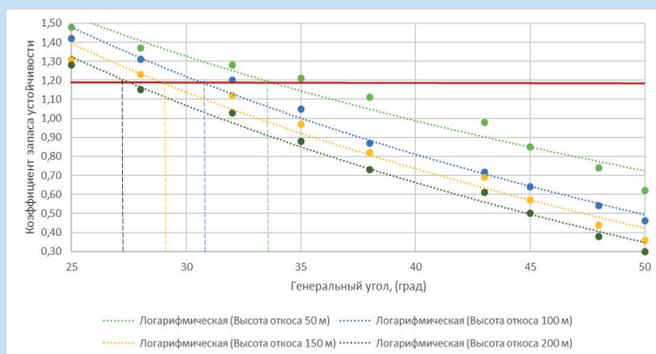


Рис. 6. График зависимости КЗУ от генерального угла и высоты откоса отвала.
Сурет 6. ОҚК-нің үйінді көлбеуінің бас бұрышы мен биіктігіне тәуелділігінің графигі.
Figure 6. Graph of the dependence of the KZU on the general angle and height of the slope of the dump.

предсказываемыми выбранной моделью. Данный метод позволяет найти параметры функции, которые наилучшим образом соответствуют исследуемым данным, обеспечивая тем самым оптимальное приближение к реальной зависимости. В результате применения МНК можно получить более точные прогнозы и выявить основные тенденции в данных.

Выводы

Проведен детальный анализ ранее проведенных исследований, касающихся физико-механических свойств горных пород, а также стабильности бортов отвала и основания. Основной целью этого анализа было получение более точных и надежных данных о структурных характеристиках и прочностных качествах различных типов горных пород.

В ходе численного анализа, проведенного с использованием конечно-элементного моделирования, были

интерпретированы результаты, касающиеся оценки напряженно-деформированного состояния техногенных образований. Также были установлены зависимости изменения коэффициента запаса прочности горных пород от различных значений их прочностных и деформационных характеристик. Эти результаты позволяют более глубоко понять влияние геологических условий на устойчивость горных массивов, что может оказать существенное влияние на безопасность и эффективность горных работ.

В результате тщательного анализа данных, полученных в ходе компьютерного моделирования, и применения аналитического метода наименьших квадратов был построен график, который позволяет точно оценивать коэффи-

циент запаса устойчивости в зависимости от изменения генерального угла и высоты откоса отвала. Этот график не только демонстрирует взаимосвязь между указанными параметрами, но и может служить практическим инструментом для инженерных расчетов, позволяя специалистам более эффективно прогнозировать поведение откосов в различных условиях эксплуатации.

Благодарность

Статья опубликована в рамках конкурса на программно-целевое финансирование по научным, научно-техническим программам на 2024-2026 годы (ИРН – BR24992854), при финансировании Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ: Учебник для вузов. Изд-во «Горная книга», 2017, С. 467 (на русском языке)
2. Макаров А.Б. Управление устойчивостью бортов карьеров как основа обеспечения ответа на глобальные вызовы. / А.Б. Макаров, Ливинский, В.И. Спириин, А.А. Павлович. // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2021. Вып. 3. С. 188-202 (на русском языке)
3. Обрегон Ч. Вероятностный подход к анализу устойчивости откосов карьерных уступов на примере карьера. / Ч. Обрегон, Х.Дж. Митри. // Горная наука и технологии. 2019. №29 (4). С. 629-640 (на английском языке)
4. Управление геомеханическими процессами при разработке месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие. / Д.М. Казикаев, А.А. Козырев, Э.В. Каспарьян, М.А. Иофис. Издательство «Горная книга», 2016, 490 с. (на русском языке)
5. Цзян Дж. Расчет несущей способности мягкого основания отвалов на примере карьера. / Дж. Цзян, Х. Ян, Л. Цао, Д. Ван, Л. Ван, Ж. Цзя, Е. Лу, Ш. Ди. // Границы науки о Земле. 2022. Т. 10. Ст. №839659 (на английском языке)
6. Хуан Ф.М. Закон неопределенности при моделировании прогнозирования подверженности оползням: влияние различных границ оползней и выражений пространственной формы. / Ф.М. Хуан, Дж. Ян, Х.М. Фан, К. Яо, Дж.С. Хуан, У. Чен и др. // Границы науки о Земле. 2021. Т.13 (8). Ст. №101317 (на английском языке)
7. Ливинский И.С. Комплексное геомеханическое моделирование: структура, геология, обоснованная достаточность. / И.С. Ливинский, А.Б. Макаров. // Горный журнал. 2017. №8. С. 51-55 (на английском языке)
8. Мусин А. Снижение разубоживания руды при разработке рудных тел малой мощности за счет искусственного поддержания выработанного пространства. / А. Мусин, А. Имашев, А. Матаев, Е. Абеуов, Н. Шайке, А. Куттыбаев. // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2023. Т. 17. №1. С. 35-42 (на английском языке)
9. Имашев А. Исследование напряженно-деформированного состояния массива под карьером с изменением ширины забоя карьера. / А. Имашев, А. Суимбаева, Ш. Зейтинова, Г. Жунусбекова, А. Куттыбаев, А. Мусин. // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2022. Т. 16. №3. С. 61-66 (на английском языке)
10. Рымқұлова А.Б. Моделирование влияния обводнения массива на показатели устойчивости борта карьера. / А.Б. Рымқұлова, Ш.Б. Зейтинова, Д.К. Жумадилова, А.Е. Касымжанова. // Горный журнал Казахстана. 2024. №1. С. 43-48 (на казахском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Гальперин А.М. Ашық тау-кен жұмыстарының геомеханикасы: Жоғары оқу орындарына арналған оқулық. «Тау-кен кітабы» басылымы, 2017, Б. 467 (орыс тілінде)
2. Макаров А.Б. Жаһандық сын-қатерлерге жауап беруді қамтамасыз етудің негізі ретінде карьер бортының тұрақтылығын басқару. / А.Б. Макаров, И.С. Ливинский, В.И. Спириин, А.А. Павлович. // ТулГУ Жаңалықтары. Жер туралы ғылымдар. 2021. Т. 3. Б. 188-202 (орыс тілінде)
3. Обрегон Ч. Карьер жиектерінің беткейлерінің тұрақтылығын талдауға ықтималдық тәсіл. / Ч. Обрегон, Х.Дж. Митри. // Тау-кен ғылымы және технологиясы. 2019. №29 (4). Б. 629-640 (ағылшын тілінде)

4. Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру кезіндегі геомеханикалық процестерді басқару: Оқу құралы. / Д.М. Қазикаев, А.А. Козырев, Э.В. Каспарян, М.А. Иофис. «Тау-кен кітабы» басылымы, 2016, 490 б. (орыс тілінде)
5. Цзян Дж. Карьер мысалында үйінділерінің жұмсақ негізінің жүк көтергіштігін есептеу. / Дж. Цзян, Х. Ян, Л. Цао, Д. Ван, Л. Ван, Ж. Цзя, Е. Лу, Ш. Ди. // Жер туралы ғылымдардағы шекаралар. 2022. №10. Мақ. №839659 (ағылшын тілінде)
6. Хуан Ф.М. Көшкінге ұшырауды болжауды модельдеудегі белгісіздік Заңы: әртүрлі көшкін шекаралары мен кеңістіктік пішін өрнектерінің әсері. / Ф.М. Хуан, Дж. Ян, Х.М. Фан, К. Яо, Дж.С. Хуан, У. Чен және басқалар. // Жер туралы ғылымдардағы шекаралар. 2021. №13 (8). Мақ. №101317 (ағылшын тілінде)
7. Ливинский И.С. Кешенді геомеханикалық модельдеу: құрылымы, геологиясы, негізделген жеткіліктілігі / И.С. Ливинский, А.Б. Макаров. // Тау-кен журналы. 2017. №8. Б.51- (ағылшын тілінде)
8. Мусин А. Өндірілген кеңістікті жасанды түрде ұстап тұру арқылы қуаты аз кен денелерін игеру кезінде кенді құнарсыздандуды азайту. / А. Мусин, А. Имашев, А. Матаев, Ю. Абеуов, Н. Шайке, А. Кутыбаев. // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. 2023. Т. 17. №1. Б. 35-42 (ағылшын тілінде)
9. Имашев А. Карьер кенжарының ені өзгерген кезде карьер астындағы массивтің кернеулі деформацияланған күйін зерттеу. / А. Имашев, А. Суимбаева, Ш. Зейтинова, Г. Жүнісбекова, А. Құттыбаев, А. Мусин. // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. 2022. Т. 16. №3. Б. 61-66 (ағылшын тілінде)
10. Рымқұлова А.Б. Массивтің сулануының ашық кеніш жағдауының тұрақтылық көрсеткіштеріне әсерін модельдеу. / А.Б. Рымқұлова, Ш.Б. Зейтинова, Жумадилова, Д.К. А.Е. Касымжанова. // Қазақстанның кен журналы. 2024. №1. Б. 43-48 (қазақ тілінде)

REFERENCES

1. Gal'perin A.M. Geomekhanika otkrytyh gornyh rabot: Uchebnik dlya vuzov. Izd-vo «Gornaya kniga», 2017, S. 467 [Galperin A.M. Geomechanics of open-pit mining: Textbook for universities. Publishing house «Mountain Book», 2017, P. 467] (in Russian)
2. Makarov A.B. Upravlenie ustojchivost'yu bortov kar'erov kak osnova obespecheniya otveta na global'nye vyzovy. / A.B. Makarov, I.S. Livinskij, V.I. Spirin, A.A. Pavlovich. // Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle. 2021. Вып. 3. S. 188-202 [Makarov A.B. Managing the stability of quarry walls as a basis for ensuring a response to global challenges. / A.B. Makarov, Livinsky, V.I. Spirin, A.A. Pavlovich. // News of Tula State University. Geosciences. 2021. Issue. 3. P. 188-202] (in Russian)
3. Obregon Ch. Probabilistic approach for open pit bench slope stability analysis – A mine case study. / Ch. Obregon, H. Mitri J. // Mining Science and Technology. 2019. №29 (4). P. 629-640 (in English)
4. Upravlenie geomekhanicheskimi processami pri razrabotke mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh: Uchebnoe posobie. / D.M. Kazikaev, A.A. Kozyrev, E.V. Kaspar'yan, M.A. Iofis. Izdatel'stvo «Gornaya kniga», 2016, 490 s. [Management of geomechanical processes during the development of mineral deposits: Textbook. / D.M. Kazikaev, A.A. Kozyrev, E.V. Kasparian, M.A. Ioffis. Publishing house «Mountain Book», 2016, 490 p.] (in Russian)
5. Jiang J. Bearing Capacity Calculation of Soft Foundation of Waste Dumps – A Case of Open-Pit Mine. / Jiang J., Yang H., Cao L., Wang D., Wang L., Jia Zh., Lu Ye., Di Sh. // Frontiers in Earth Science. 2022. Vol. 10. Art. №839659 (in English)
6. Huang F.M. Uncertainty Law of Landslide Susceptibility Prediction Modelling: Effects of Different Landslide Boundaries and Spatial Shape Expressions. / Huang F.M., Yan J., Fan X.M., Yao C., Huang J.S., Chen W. et al. // Geoscience Frontiers. 2021. Vol. 13 (8). Art. №101317 (in English)
7. Livinskiy I.S. Complex geomechanical modeling: structure, geology, reasonable sufficiency. / Livinskiy I.S., Makarov A.B. // Mining magazine. 2017. №8. P. 51-55 (in English)
8. Mussin A. Reduction of ore dilution when mining low-thickness ore bodies by means of artificial maintenance of the mined-out area. / Mussin A., Imashev A., Matayev A., Abeuov Y., Shaik N., Kuttybayev A. // Mining of Mineral Deposits. 2023. Vol. 17. №1. P. 35- 42 (in English)
9. Imashev A. Research into stress-strain state of the mass under open pit with a change in the open-pit bottom width. / Imashev A., Suimbayeva A., Zeitinova Sh., Zhunusbekova G., Kuttybayev A., Mussin A. // Mining of Mineral Deposits. 2022. Vol. 16. №3. P. 61-66 (in English)
10. Rymkulova A.B. Modeling of the effect of flooding of the massif on the stability indicators of the side of the quarry. / A.B. Rymkulova, Sh.B. Zeitinova, D.K. Zhumadilova, A.E. Kasymzhanova. // Mining Journal of Kazakhstan. 2024. №1. P. 43-48 (in Kazakh)

Сведения об авторах:

Имашев А.Ж., PhD, асс. профессор кафедры «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>

Нуршайықова Г.Т., к.т.н., ассоциированный профессор школы наук о Земле Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), ahmadievag@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9915-8315>

Зейтинова Ш.Б., PhD, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), sh.zeitinova@kstu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-3489-8969>

Тунгушбаева З.К., к.т.н., доцент, ученый секретарь филиала РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья РК» ВНИИцветмет (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), zuhra06@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1366-1196>

Авторлар туралы мәліметтер:

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

Нұршайықова Г.Т., т.ғ.к., Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің Жер туралы ғылымдар мектебінің қауымдастырылған профессоры (Өскемен 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)

Тунгушбаева З.К., т.ғ.к., доцент, «ҚР Минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу Ұлттық орталығы» РМК филиалының ғылыми хатшысы ВНИИцветмет (Өскемен қ., Қазақстан)

Information about the authors:

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

Nurshaiykova G., Cand. of tech. sc., Associate Professor of the Faculty of Earth Sciences D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, 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)

Tungushbayeva Z.K., Cand. of tech. sc., Associate Professor, Scientific Secretary of filial agency of the National Center for Complex Processing of Mineral Raw Materials, VNIItsvetmet (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

ВЫСТАВКА ВЕЗДЕХОДНОЙ ТЕХНИКИ

29 НОЯБРЯ - 1 ДЕКАБРЯ
МОСКВА, ЦВК ЭКСПОЦЕНТР



0+

РЕКЛАМА