

Код МРНТИ 52.13.05

*Ф.К. Низаметдинов¹, Р.Н. Джамантыкова¹, А.В. Михнев¹, А. Алибаев²
¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»

(г. Караганда, Казахстан),

²Товарищество с ограниченной ответственностью «Корпорация Казахмыс» (г. Бишкек, Кыргызстан)

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ АНИЗОТРОПНЫХ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Аннотация. Рассматривается проблема оценки устойчивости анизотропных карьерных откосов на основе тщательного выявления структурных особенностей прибортовых массивов путем сканирования их горным сканером с целью выявления элементов залегания, а также уточнения прочностных свойств пород и породных контактов на основе проведения натурных испытаний породных призм и обследования локальных обрушений в откосах уступов на карьерах. Оценка устойчивости анизотропных откосов уступов осуществляется расчетными схемами с учетом наличия разрывных нарушений и трещин, которые разработаны проф. Окатовым Р.П. Результаты оценки устойчивости откосов уступов позволяют выполнить районирование и спрогнозировать состояние северного и южного бортов карьера Бозымчак.

Ключевые слова: анизотропный откос, угол наклона откоса, метод предельного равновесия, поверхность ослабления трещин, устойчивость откоса.

Анизотропты карьер беткейлерінің тұрақтылығын бағалау

Аңдатпа. Анизотропты карьерлік беткейлердің тұрақтылығын бағалау проблемасы пайда болу элементтерін анықтау мақсатында оларды тау-кен сканерімен сканерлеу арқылы аспаптық массивтердің құрылымдық ерекшеліктерін мұқият анықтау негізінде, сондай-ақ тау жыныстарының призмалары мен тау жыныстарының байланыстарының беріктік қасиеттерін нақтылау және Карьерлердегі беткейлердегі жергілікті құлауды зерттеу негізінде қарастырылады. Жоталардың анизотропты беткейлерінің тұрақтылығын бағалау р. п. проф. Окатов әзірлеген жарылғыш бұзылулар мен жарықтардың болуын ескере отырып, есептік схемалармен жүзеге асырылады. Жоталардың беткейлерінің тұрақтылығын бағалау нәтижелері аудандастыруға және Бозымчак карьерінің Солтүстік және Оңтүстік бортының жай-күйін болжауға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: анизотропты көлбеу, көлбеу бұрышы, шекті тепе-теңдік әдісі, жарықтардың әлсіреу беті, көлбеу тұрақтылығы.

Assessment of the stability of anisotropic quarry slopes

Abstract. The problem of assessing the stability of anisotropic quarry slopes is considered on the basis of careful identification of structural features of the instrument arrays by scanning them with a mining scanner in order to identify the elements of occurrence, as well as clarifying the strength properties of rocks and rock contacts based on field tests of rock prisms and examination of local collapses in the slopes of ledges at quarries. Assessment of the stability of anisotropic slopes of ledges is carried out by calculation schemes taking into account the presence of discontinuous faults and cracks, which were developed by Prof. Okatov R.P. The results of the assessment of the stability of the slopes of the ledges allow us to perform zoning and predict the condition of the northern and southern sides of the Bozymchak quarry.

Key words: anisotropic slope, slope angle, limit equilibrium method, crack attenuation surface, slope stability.

Введение

В процессе разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом возникает задача по дальнейшей углубки карьера с учетом выявленных элементов залегания структурных особенностей в прибортовых массивах в виде разрывных нарушений и трещин изучения величин прочностных свойств горных пород и породных контактов [1, 3, 5, 6]. Этому способствует, как правило, проведению дальнейших инженерно-геомеханических исследований горных пород прибортовых массивов карьера путем бурения инженерно-геологических скважин для получения керна, из которых изготавливаются образцы для проведения испытаний по уточнению прочностных свойств пород, особенно сцеплений и углов внутреннего трения, а также появляется возможность тотального определения элементов залегания трещин и размеров породных блоков на откосах вскрытых уступов [7-11]. Поэтому в связи с корректировкой проекта горных работ при дальнейшей углубке карьера возникает задача по обоснованию параметров откосов уступов и бортов для максимально возможной глубины отработки месторождения открытым способом с разработкой технологических схем постановки откосов уступов на проектный контур.

В геологическом отношении месторождение Бозымчак, в основном, сложено скальными и полускальными породами с наличием различных геологических разломов и сопутствующей им ориентированной трещиноватостью горного массива. Южный борт сложен в основном гранодиоритами, а северный борт представлен мраморизованными известняками. На месторождении развито большое

количество секущих дизъюнктивных структур, которые имеют северо-западное, северо-восточное и близкое к меридиональному простиранию. Роль многих из них в локализации скарновой залежи и рудных тел достаточно определена. Выявленные разломы залегают с запада на восток: Западный, Центральный, Северо-Западный, Штольневой, Дайковый. В целом они имеют крутое залегание от 65-80° и каждый имеет свой азимут простирания. Следует отметить, что выявленные крупные разломы и нарушения не оказывают существенного влияния на устойчивость бортов карьера. Однако, наличие мелких разрывных нарушений способствуют реализации локальных породных вывалов.

По полученным данным строится паспорт прочности пород, и отсюда находится сцепление и угол внутреннего трения пород. При этом настораживают полученные значения величин углов внутреннего трения расчетным способом, имеющие средние значения 56° у гранодиоритов и 58° у мраморизованного известняка. Эти величины достаточно высоки (большие), у нас на месторождениях Казахстана величины углов внутреннего трения для гранодиоритов колеблются в пределах 38-40°, а у известняков от 29° до 33°. Поэтому для условий карьера Бозымчак для гранодиоритов угол внутреннего трения принят равным 39°, а для мраморизованного известняка 34°, которые использованы при оценке устойчивости откосов уступов и бортов карьера. Для окончательного снятия наших сомнений следовало бы выполнить дополнительные лабораторные испытания по вышеперечисленным породам.

Методы исследования

При изучении элементов залегания трещин в северном и южном бортах карьера использована новая методика, основанная на использовании лазерного сканера, где определяются координаты трех точек поверхностей трещин, что позволяет получить ее ориентировку. Данная технология позволяет изучить элементы залегания трещин и разрывных нарушений на карьере в широком диапазоне по всей высоте откоса, уступа и борта, что является большим достоинством перед ранее существовавшими способами съемки. Параллельно с этим измеряются размеры структурных и породных блоков. Точность получения параметров съемки определяется расстоянием между прибором и снимаемым объектом. Использование результатов съемки лазерным сканером для получения элементов залегания трещин и размеров структурных блоков возможно при нахождении прибора от приборного массива до 800 метров.

Предлагаемая методика изучения элементов залегания трещин пород с использованием лазерного сканера следующая:

- на карьере выбирается точка съемки трещин приборного массива, где устанавливается штатив сначала с отражателем, а затем электронным тахеометром для определения координаты точки стояния, затем устанавливается лазерный сканер, с помощью которого производится съемка приборного массива. Следует отметить, что точка, с которой производится съемка, выбирается таким образом, чтобы можно было максимально снять обнаженную часть структуры приборного массива. Расстояние до снимаемого массива в этом случае не должно превышать 800 метров, в нашем случае до 200 м (рис. 1);



Рис. 1. Выполнение лазерного сканирования южного борта горным сканером на карьере.

Сурет 1. Карьерде тау-кен сканерімен оңтүстік жағдауды лазерлік сканерлеу.

Figure 1. Performing a laser scan of the southern side with a mining scanner at a quarry.

- включается сканер, ориентируется на известную маркшейдерскую точку и осуществляется съемка поверхности откоса структурных особенностей приборного массива через установленный шаг сканирования;

- после этого на компьютере с помощью программы MartekI-SiteStudio создаются облако точек с наложением фотографии;

- обрабатывается полученная объемная электронная версия поверхности приборного массива с целью получения параметров залегания трещин и разрывных нарушений: углов падения и азимутов простирания, размеров структурных блоков, а также геометрических параметров откосов уступов и бортов карьера.

При изучении трещиноватости пород накапливается большое количество измерений. Обработку и обобщение этих измерений производят с использованием круговых, прямоугольных диаграмм и стереограмм трещиноватости, на основании которых строят структурные разрезы и карты трещиноватости.

Результаты

После обработки и обобщения результатов съемки трещиноватости пород приборного массива южного борта производят с использованием прямоугольной диаграммы. По выбранным замерным станциям были выделены системы трещин и с помощью стереографических сеток выявлены угловые соотношения между системами трещин и их ориентировка относительно простирания откоса уступа. Данные обработки трещиноватости пород по карьере приведены на рис. 2, 3 и сведены в таблицу 1. Таким образом, по карьере на южном борту выделено 7-8 систем трещин и разрывных нарушений со следующими элементами залегания (рис. 4, 5.): I – $A_1 = 18^\circ$; $\delta_1 = 68^\circ$; $n_1 = 22$; II – $A_2 = 116^\circ$; $\delta_2 = 73^\circ$; $n_2 = 8$; III – $A_3 = 210^\circ$; $\delta_3 = 79^\circ$; $n_3 = 8$; IV – $A_4 = 235^\circ$; $\delta_4 = 81^\circ$; $n_4 = 14$; V – $A_5 = 228^\circ$; $\delta_5 = 44^\circ$; $n_5 = 11$; VI – $A_6 = 278^\circ$; $\delta_6 = 60^\circ$; $n_6 = 31$; VII – $A_7 = 310^\circ$; $\delta_7 = 83^\circ$; $n_7 = 10$; VIII – $A_8 = 292^\circ$; $\delta_8 = 47^\circ$; $n_8 = 10$.

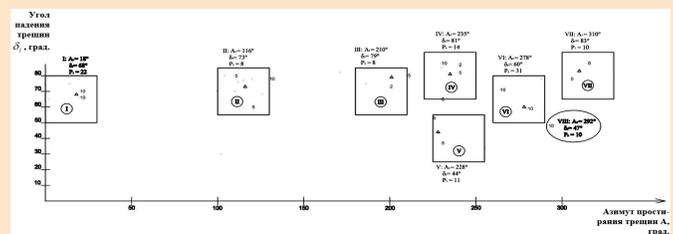


Рис. 2. Прямоугольная диаграмма трещиноватости пород южного борта карьера.

Сурет 2. Кеністің оңтүстік жағдау жыныстарының жарықшақтанудың тікбұрышты диаграммасы.

Figure 2. Rectangular diagram of rock rupture on the south side of the quarry.

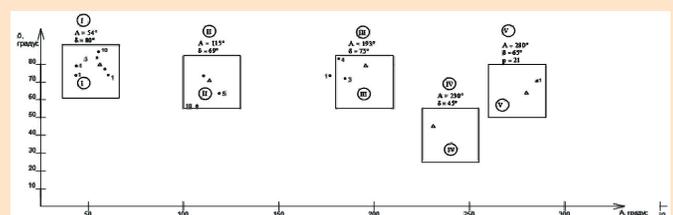


Рис. 3. Прямоугольная диаграмма трещиноватости пород северного борта карьера.

Сурет 3. Кеністің солтүстік жағдау жыныстарының жарықшақтанудың тікбұрышты диаграммасы.

Figure 3. Rectangular fracturing diagram of the rocks of the northern side of the quarry.

По северному борту карьера выявлено 5 систем трещин со следующими элементами залегания: I: $A = 54^\circ$, $\delta = 80^\circ$; II: $A = 115^\circ$, $\delta = 69^\circ$; III: $A = 193^\circ$, $\delta = 75^\circ$; IV: $A = 230^\circ$, $\delta = 45^\circ$; V: $A = 280^\circ$, $\delta = 65^\circ$. Полученные данные были использованы при оценке устойчивости откосов уступов северного борта карьера (таблица 1).

Обработка цифровой модели прибортовых массивов карьера выполняется в программном комплексе MaptekI-SiteStudio. При этом цифровая модель содержит полную информацию о прибортовом массиве горных пород. Используя программу по обработке данных трещиноватости пород, выделяются системы трещин, размеры блоков для использования их в паспорте прочности применительно к массиву. Результаты обработки трещиноватости горных пород наблюдательными станциями и их сравнение между замерами горным компасом и лазерным сканером дали расхождение в 3-4 %, что является допустимым.



Рис. 4. Элементы залегания трещин северного борта карьера.

Сурет 4. Кеніштің солтүстік жағдау жарықшақтардың элементтері.

Figure 4. Elements of the occurrence of cracks on the northern side of the quarry.



Рис. 5. Элементы залегания трещин южного борта карьера.

Сурет 5. Кеніштің оңтүстік жағдау жарықшақтардың элементтері.

Figure 5. Elements of the occurrence of cracks on the southern side of the quarry.

Размеры породных блоков вычисляются по разности координат точек, взятых по нормали между трещинами. Величины дирекционных углов и углов наклона поверхностей ослаблений могут быть вычислены через координаты точек, взятых на поверхности трещины.

Примеры определения элементов залегания трещин северного и южного бортов карьера приведены на рис. 2, 3 и полученные результаты оценки устойчивости откосов уступов Южного и Северного бортов карьера Бозымчак с учетом поверхностей ослаблений (трещин и разрывных нарушений) приведены в таблице 1. Тип или схема возможного обрушения, возможна реализация расчетной схемы VII (по Р.П. Окатову). Здесь же приведены результаты оценки устойчивости откосов с учетом ориентировки трещин на основе разработанных нами программ [4, 5].

Следует заметить, что при оценке устойчивости откосов уступов в трещиноватых породах южного борта кроме геометрических параметров откосов уступов, которые приведены в таблице, использовались прочностные свойства по контактам нарушений и трещинам: сцепление (κ'), равное $1,5 \text{ т/м}^2$, а угол трения (ρ') составлял 25° (полученные нами по данным натурных испытаний), а также значения сцепления и угла внутреннего трения гранодиоритов в массиве ($\kappa_m = 106 \text{ т/м}^2$; $\rho_m = 33^\circ$; $\gamma = 2,89 \text{ т/м}^3$), а мраморизованных известняков ($\kappa_m = 58,2 \text{ т/м}^2$; $\rho_m = 30^\circ$; $\gamma = 2,73 \text{ т/м}^3$).

Следует заметить, что при оценке устойчивости откосов уступов в трещиноватых породах южного борта кроме геометрических параметров откосов уступов, которые приведены в таблице, использовались прочностные свойства по контактам нарушений и трещинам: сцепление (κ'), равное $1,5 \text{ т/м}^2$, а угол трения (ρ') составлял 25° (полученные нами по данным натурных испытаний), а также значения сцепления и угла внутреннего трения гранодиоритов в массиве ($\kappa_m = 106 \text{ т/м}^2$; $\rho_m = 33^\circ$; $\gamma = 2,89 \text{ т/м}^3$), а мраморизованных известняков ($\kappa_m = 58,2 \text{ т/м}^2$; $\rho_m = 30^\circ$; $\gamma = 2,73 \text{ т/м}^3$).

Анализ полученных результатов оценки устойчивости откосов уступов на проектном контуре южного борта карьера показывает, что в верхней его части имеется три согласноподходящие системы трещин, которые могут спровоцировать локальные породные вывалы. Здесь появляется возможность реализации расчетной схемы VII по классификации проф. Окатова Р.П. [1, 3, 5], где коэффициент запаса устойчивости достигает 1,23. Поэтому здесь должно большое внимание уделяться ведению БВР в приконтурной полосе. Кроме того, в районе станции №19 появляется продольная согласноподходящая система трещины, которая в определенных условиях может реализовываться по схеме I, где коэффициент запаса устойчивости составляет 1,16. Остальные участки откосов уступов южного борта карьера на проектном контуре (при 30-м откосе уступа) должны быть устойчивы, так как коэффициенты запаса устойчивости колеблются от 1,96 до 32,0. Согласно существующей инструкции коэффициент запаса устойчивости откосов уступов на проектном контуре должен составлять 1,5-2,0 и выше [6].

Анализ полученных результатов оценки устойчивости откосов уступов на северном борту (таблицы 1 и 2) показывает, что существующая трещиноватость прибортовых массивов не сильно влияет на устойчивость отдельностоящих уступов, так как при возможной реализации расчетной схемы 6 по проф. Окатову Р.П. коэффициент устойчивости колеблется от 3,09 до 5,98, что удовлетворяет методическим указаниям по обеспечению устойчивости, даже с учетом сейсмического воздействия на него (происходит уменьшение коэффициента запаса устойчивости на величину 0,1).

Для условий карьера Бозымчак построена цифровая модель карьерного поля с учетом фактического положения верхних горизонтов полученным по данным сканирования горным сканером и проектного, по данным технического проекта. Уникальность полученной цифровой модели заключается в возможности совмещения общей ситуации

Таблица 1

Результаты оценки устойчивости откосов уступов Южного и Северного бортов карьера

Кесте 1

Карьердің Оңтүстік және Солтүстік борттарының беткейлерінің беріктігін бағалау нәтижелері

Table 1

The results of the assessment of the stability of the slopes of the ledges of the Southern and Northern sides of the quarry

Борт карьера № станции	Откос уступа		Азимут простирания откоса уступа, градус	Элементы залегания системы трещин			Классификация трещин по отношению к простиранию откоса уступа	Коэффициент запаса устойчивости
	Высота, м	Угол наклона уступа, градус		№ системы	Азимут простирания А, градус	Угол падения δ_i , градус		
южный борт								
Южный №№ 1, 2, 3, 4 (длина 75 м)	30	75	270		235	81	Диагональная согласнопадающая, крутая	1,23
				5	228	44		
				7	310	83		
Южный №№ 5, 6, 7, 8 (длина 15 м)	30	75	270	6	228	44	Диагональная согласная, наклонная	2,64
				1	18	68	Поперечная несогласная крутая	
				4	235	81	Диагональная согласнопадающая крутая	
				6	278	60	Продольная согласнопадающая наклонная	
				8	292	47	Диагональная согласнопадающая наклонная	
Южный №№ 9, 10, 11, 12 (длина 40 м)	30	75	270	4	235	81	Диагональная несогласнопадающая крутая	20,42
				2	116	73		
северный борт								
Северный №1 (длина 100 м)	30	60	76	I	54	80	Диагональная согласнопадающая, крутая	Трещины не влияют на устойчивость откосов уступов
				I	20	80		
Северный №2 (длина 100 м)	30	70	90	I'	54	80	Диагональная согласная, наклонная	3,09
				II	115	69	Поперечная согласная крутая	
Северный №3 (длина 100 м)	30	70	90	2	115	69	Диагональная согласнопадающая крутая	3,10
				I'	54	80		

фактического состояния бортов карьера Бозымчак с проектными решениями при дальнейшей углубке карьера.

Заклучение

Проведенные исследования позволяют сделать следующее:

- Разработана методика изучения элементов залегания трещин и разрывных нарушений в прибортовых массивах карьера на основе съемки горным лазерным сканером, позволяющим получить цифровую модель в виде облака точек и осуществить районирование прибортовых массивов по фактору устойчивости с учетом определения их значений.

- Установлены элементы залегания основных систем трещин и разрывных нарушений, которые имеются на месторождении Бозымчак, так на северном борту выделено 5 систем трещин, а на южном 8 систем, которые являются ослабляющим фактором горного массива.

- Выполненная оценка устойчивости откосов уступов с учетом анизотропии массива показывает, что в определенных условиях они снижают его устойчивость до величины коэффициента запаса устойчивости, равным 1,16, что является недостаточным значением (допустимая величина коэффициента запасов устойчивости для откосов уступов составляет 1,50-2,00 и более согласно методическим указаниям [6]).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Korchak S.A., Savintsev I.A., Storozhenko L.A. Совершенствование методов изучения степени и характера трещиноватости горных пород в залежах твердых полезных ископаемых. // Инженерная и горная геофизика. – 2020. – №1. – С. 1-11 (на английском языке)
2. Nizamutdinov F.K., Ozhigin S.G., Ozhigina S.B., Dolgonosov V.N., Raděj K., Staňková H. Мониторинг состояния откосов уступов и бортов карьеров. // Научно-исследовательский геодезический, топографический и картографический институт. – Здибы, 2015. – С. 350 (на чешском языке)
3. Nizamutdinov F.K., Nagibin A.A., Tuyakbai A.S., Nizamutdinov N.F., Estava A.R., Baryshnikov V.D., Zhanatuly E. Выбор и обоснование расчетных параметров прочностных свойств горных пород при анализе устойчивости откосов карьеров. // Журнал горных наук. – 2021. – Т. 57. – №3. – С. 386-392 (на английском языке)
4. Ожигин С.Г., Ожигина С.Б., Ожигин Д.С. Метод расчета устойчивости откосов открытых карьеров в залежах сложного строения. // Минеральная Инженерия. – 2018. – Т. 19. – №1. – С. 203-208
5. Капасова А.З., Конарбаева А.Б., Шашубай Н.Ш., Оскембекова А.С. Оценка устойчивости анизотропных карьерных откосов на основе инновационных измерений. // Инновационные процессы в науке и образовании: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2019. – С. 32-35 (на русском языке)
6. Низаметдинов Ф.К. Отчет по НИР «Исследование устойчивости откосов уступов и бортов карьера «Бозымчак» на основе изучения структуры и прочностных свойств прибортового массива». // Научное руководство. – Бишкек, 2015. – С. 108 (на русском языке)
7. Nizamutdinov F.K., Baryshnikov V.D., Oralbay A.O. Оценка устойчивости карьера Кентобе с использованием цифровой геолого-геомеханической модели. // Журнал горной науки. – 2022. – С. 896-902 (на английском языке)
8. Низаметдинов Ф.К., Ожигин С.Г., Низаметдинов Н.Ф., Оралбай А.О. Мониторинг устойчивости уступов и бортов карьеров. // Энерго- и ресурсосберегающие технологии развития сырьевой базы горнодобывающих регионов. Петрошани: Издательство Universitas Publishing, 2021. – С.46-65 (на английском языке)
9. Горбатова Е.А., Колесатова О.С., Романко Е.А., Смяткин А.Н. Геомеханический мониторинг деформаций поверхности грунта и стенок карьера. // Горный журнал. – 2020. – №4. – С.16-20 (на русском языке)
10. Чжиган Тао, Юй Шу, Сяоце Ян, Яньян Пэн, Цихан Чен и др. Тестовое исследование физической модели характеристик прочности на сдвиг поверхности скольжения склона в карьере Наньфэн открытым способом. // Международный журнал горной науки и технологии. – 2020. – Т. 30. – №3. – С. 421-429 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Korchak S.A., Savintsev I.A., Storozhenko L.A. Қатты пайдалы қазбалар кен орындарындағы тау жыныстарының жарылу дәрежесі мен сипатын зерттеу әдістерін жетілдіру. // Инженерлік және тау-кен геофизикасы. – 2020. – №1. – Б. 1-11 (ағылшын тілінде)
2. Nizamutdinov F.K., Ozhigin S.G., Ozhigina S.B., Dolgonosov V.N., Radio K., Stankova H. Карьерлердің беткейлері мен борттарының жай-күйін бақылау. // Ғылыми-зерттеу геодезиялық, топографиялық және картографиялық институты. – Здибы, 2015. – Б. 350 (чех тілінде)
3. Nizamutdinov F.K., Nagibin A.A., Tuyakbai A.S., Nizamutdinov N.F., Estava A.R., Baryshnikov V.D., Zhanatuly E. Карьер беткейлерінің тұрақтылығын талдау кезінде тау жыныстарының

беріктік қасиеттерінің есептік параметрлерін таңдау және негіздеу. // Тау-кен ғылымдарының журналы. – 2021. – Т. 57. – №3. – Б. 386-392 (ағылшын тілінде)

4. Ожигин С.Г., Ожигина С.Б., Ожигин Д.С. Күрделі құрылыс кен орындарындағы карьерлердің беткейлерінің тұрақтылығын есептеу әдісі. // Минералды Инженерия. – 2018. – Т. 19. – №1. – Б. 203-208 (орыс тілінде)
5. Қапасова А.З., Қоңырбаева А.Б., Шашубай Н.Ш., Оскембекова А.С. Инновациялық өлшеулер негізінде анизотропты карьер беткейлерінің тұрақтылығын бағалау. // Ғылым мен білім берудегі инновациялық процестер: Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның мақалалар жинағы. – Пенза: «Ғылым және білім» ХФС, 2019. – Б. 32-35 (орыс тілінде)
6. Низаметдинов Ф.К. «Жағдау сілмдерінің құрылымы мен беріктік қасиеттерін зерттеу негізінде «Бозымшақ» кенішінің кемер қиябеттері мен жағдаулардың орнықтылығын зерттеу» ҒЗЖ есебі. // Ғылыми басшылық. – Бішкек, 2015. – Б. 108 (орыс тілінде)
7. Nizametdinov F.K., Baryshnikov V.D., Oralbay A.O. Сандық геологиялық-геомеханикалық үлгіні пайдалана отырып, Кентөбе карьер қабырғаларының тұрақтылығын бағалау. // Тау-кен ғылымдары журналы – 2022. – Б. 896-902 (ағылшын тілінде)
8. Низаметдинов Ф.К., Ожигин С.Г., Низаметдинов Н.Ф., Оралбай А.О. Карьерлердің жиектері мен борттарының тұрақтылығын бақылау. // Тау-кен өндіру өңірлерінің шикізат базасын дамытудың энергия және ресурс үнемдеуші технологиялары. Петрошани: Universitas Publishing, 2021. – Б. 46-65 (ағылшын тілінде)
9. Горбатова Е.А., Колесатова О.С., Романко Е.А., Смяткин А.Н. Топырақ бетінің және карьер қабырғаларының деформацияларының геомеханикалық мониторингі. // Тау журналы. – 2020. – №4. – Б. 16-20 (орыс тілінде)
10. Чжиган Тао, Ю Шу, Сяоцзе Ян, Янян Пэн, Цихан Чен және т.б. Нанфен карьеріндегі көлбеу сырғанау бетінің сдысу күшінің физикалық моделін ашық түрде зерттеу. // Халықаралық тау-кен ғылымы және технологиялар журналы. – 2020. – Т. 30. – №3. – Б. 421-429 (ағылшын тілінде)

REFERENCE

1. Korchak S.A., Savintsev I.A., Storozhenko L.A. Updating Methods for Studying the Degree and Nature of Rock Fractures in Solid Mineral Deposits. // Engineering and Mining Geophysics. – 2020. – №1. – P. 1-11 (in English)
2. Nizametdinov F.K., Ozhigin S.G., Ozhigina S.B., Dolgonosov V.N., Radio K., Stankova H. Monitoring sostoyaniya otkosov ustupov i bortov kar'erov [Monitoring of the state of slopes of ledges and sides of quarries]. // Nauchno-issledovatel'skij geodezicheskij, topograficheskij i kartograficheskij institute = Scientific Research Geodetic, Topographic and Cartographic Institute. – Zdiby, 2015. – P. 350 (in Czech)
3. Nizamutdinov F.K., Nagibin A.A., Tuyakbai A.S., Nizamutdinov N.F., Estava A.R., Baryshnikov V.D., Zhanatuly E. Selection and justification of design variables for strength properties of rocks in slope stability analysis for open pits. // Journal of Mining Science. – 2021. – Vol. 57. – №3. – P. 386-392 (in English)
4. Ozhigin S.G., Ozhigina S.B. and Ozhigin D.S. Metod rascheta ustojchivosti otkosov otkrytyh kar'erov v zalezah slozhnogo stroeniya [A method for calculating the stability of slopes of open pits in deposits of complex structure]. // Mineral'naya Inzheneriya = Mineral Engineering. – 2018. – Vol. 19. – №1. – P. 203-208 (in Russian)
5. Kapasova A.Z., Konyrbaeva A.B., Shashubai N.S., Oskembekova A.S. Ocenka ustojchivosti anizotropnyh kar'ernyh otkosov na osnove innovacionnyh izmerenij [Stability assessment of anisotropic quarry slopes based on innovative measurements]. // Innovacionnyye processy v nauke i obrazovanii: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii = Innovative processes in science and education: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. – Penza: ICNS «Science and Education». – 2019. – P. 32-35 (in Russian)
6. Nizametdinov F.K. Otchet po NIR «Issledovanie ustojchivosti otkosov ustupov i bortov kar'era «Bozymchak» na osnove izucheniya struktury i prochnostnyh svojstv pribortovogo massiva» [R&D report «Study of the stability of slopes of ledges and sides of the Bozymchak quarry based on the study of the structure and strength properties of the instrument array»]. // Nauchnoe rukovodstvo = Scientific Guide. – Bishkek, 2015. – P. 108 (in Russian)
7. Nizametdinov F.K., Baryshnikov V.D., Oralbay A.O. Kentobe Pitwall Stability Estimation Using a Digital Geological-Geomechanical Model. // Journal of Mining Science. – 2022. – P. 896-902 (in English)
8. Nizametdinov F.K., Ozhigin S.G., Nizametdinov N.F., Oralbai A.O. Stability monitoring of ledges and sides of quarries. // Energy- and resource-saving technologies for the development of the raw material base of mining regions. Petroshani: Universitas Publishing, 2021. – P. 46-65 (in English)

9. *Gorbatova E.A., Kolesatova O.S., Romanko E.A., Smyatkin A.N. Geomekhanicheskiy monitoring deformatsij poverhnosti grunta i stenok kar'era [Geomechanical monitoring of soil surface deformations and quarry walls]. // Gornyj zhurnal = Mining Journal. – 2020. – №4. – P.16-20 (in Russian)*
10. *Zhigang Tao, Yu Shu, Xiaojie Yang, Yanyan Peng, Qihang Chen, etc. A test study of the physical model of the shear strength characteristics of the sliding surface of the slope in the Nanfen quarry by an open method. // International Journal of Mining Science and Technology. – 2020. – Vol. 30. – №3. – P.421-429 (in English)*

Сведения об авторах:

Низаметдинов Ф.К., доктор технических наук, профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), niz36@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1933-6351>

Джамантыкова Р.Н., магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), d.rau@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7547-584X>

Михнев А.В., преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), andmihnev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5177-6480>

Алибаев А., геотехник месторождения Бозымчак Товарищества с ограниченной ответственностью «Корпорация Казахмыс» (г. Бишкек, Кыргызстан), Surveyorkg@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-0644-4337>

Авторлар туралы мәліметтер:

Низаметдинов Ф.К., техника ғылымдарының докторы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Джамантыкова Р.Н., техника ғылымдарының магистрі, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Михнев А.В., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Алибаев А., Бозымшак кен орнының геотехнигі, «Қазақмыс корпорациясы» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігі (Бішкек қ., Кыргызстан)

Information about the authors:

Nizametdinov F.K., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Mine Surveying and Geodesy» of the Non-Profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Jamantykova R.N., Master of Technical Sciences, Senior lecturer of the Department «Surveying and Geodesy» of the Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Mikhnev A.V., lecturer of the Department «Surveying and Geodesy» of the Non-profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Alibaev A., geotechnician, Bozymchak deposits Limited Liability Partnerships «Kazakhmys Corporation» (Bishkek, Kyrgyzstan)