

**REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 2224-5227

Volume 3, Number 319 (2018), 133 – 140

B.R. Rakishev¹, S.V. Kuzmenko², S.A. Sedina³, K.K. Tulebayev³¹ Kazakh National Technical Research University after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan;² Sokolov-Sarybai Mining Production Association (SSGPO) JSC, Rudniy, Kazakhstan;³ Mining Institute after D.A. Kunayev, Almaty, Kazakhstanb.rakishev@mail.ru; igd.ogm@gmail.com**THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF MINING-GEOLOGICAL FACTORS
ON EDGES STABILITY ON THE EXAMPLE OF THE SARBAI PIT**

Abstract: Conditions complication of mining operations production because of increase in depth of development and involvement in field exploitation with the composite mining-and-geological conditions is characteristic of the modern pits. In these conditions, the great significance is gathered by questions of geomechanical ensuring stability of pit edges and boards. In practice of conducting open mining operations educe several groups of the factors influencing stability, depending on vision of authors, these factors can be consolidated in two and more groups [1-5].

Research work results of rock mass jointing, influence of queries systems on stability of boards and edges are given in the article, carried out by the Institute of Mining named after D.A.Kunayev. As an example was chosen Sarybai iron-ore pit which development is characterized with significant depth increase and transition to development of deep lying ores. The certain sites of pit boards requiring special attention when conducting mining operations are defined.

Keywords: open pit mining, pit, board, edge, deformations, stability, jointing, rock mass.

622.271

Б.Р. Ракишев¹, С.В. Кузьменко², С. А. Съедина³, К.К. Тулебаев³¹ Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И.Сатпаева,
Алматы, Казахстан;² Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение АО (ССГПО),
Рудный, Казахстан;³ Институт горного дела им. Д. А. Кунаева, Алматы, Казахстан**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА
УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ НА ПРИМЕРЕ САРБАЙСКОГО КАРЬЕРА**

Аннотация: Для современных карьеров характерно усложнение условий производства горных работ из-за увеличения глубины разработки и вовлечения в эксплуатацию месторождений со сложными горно-геологическими условиями. В этих условиях большое значение приобретают вопросы геомеханического обеспечения устойчивости уступов и бортов карьера. В практике ведения открытых горных работ выявляют несколько групп факторов, влияющих на устойчивость, в зависимости от видения авторов эти факторы могут быть объединены в две и более группы [1-5].

В статье приведены результаты научно-исследовательской работы по изучению трещиноватости массива горных пород, влияния систем трещин на устойчивость бортов и уступов, выполненные Институтом горного дела им. Д.А. Кунаева. В качестве примера выбран Сарбайский железорудный карьер, для развития которого характерно значительное увеличение глубины и переход к разработке глубоко залегающих руд. Определены отдельные участки бортов карьера, требующие повышенного внимания при проведении горных работ.

Ключевые слова: открытые горные работы, карьер, борт, уступ, деформации, устойчивость, трещиноватость, массив.

Потребности в минеральном сырье из года в год возрастают, что введет за собой необходимость повышения производственных мощностей горных производств. Месторождения имеющие простые горно-геологические условия и высокое содержание полезного компонента в рудах уже отработаны или близки к завершению работ. Поэтому современное развитие горнодобывающей отрасли характеризуется усложнением условий производства горных работ из-за увеличения глубины разработки и вовлечения в эксплуатацию месторождений со сложными горно-геологическими условиями. При увеличении глубины действующих карьеров вопросы устойчивости бортов превращаются в проблемы большой экономической значимости для горных предприятий.

Прогнозирование деформационных процессов возможно на основании комплексного подхода, включающего изучение структурно-тектонического строения и прочностных свойств массива, инструментальные наблюдения за деформированием различных участков прибортового массива, оценку уровня и направления действия тектонических сил, а также проведение геомеханических расчетов устойчивости [1, 6, 7].

Производство горных работ в карьере в соответствии с проектной документацией не всегда гарантирует отсутствие деформаций бортов, локальных участков бортов и уступов, особенно при формировании предельного контура карьера. Причины возникающих нарушений устойчивости прибортовых массивов различны в зависимости от геологических, инженерно-геологических, гидрогеологических условий и параметров борта на конкретном участке карьерного поля [1, 8].

В практике ведения открытых горных работ все факторы, влияющие на устойчивость бортов карьеров, можно разделить на четыре группы: инженерно-геологические, гидрогеологические, физико-географические, горнотехнические [2].

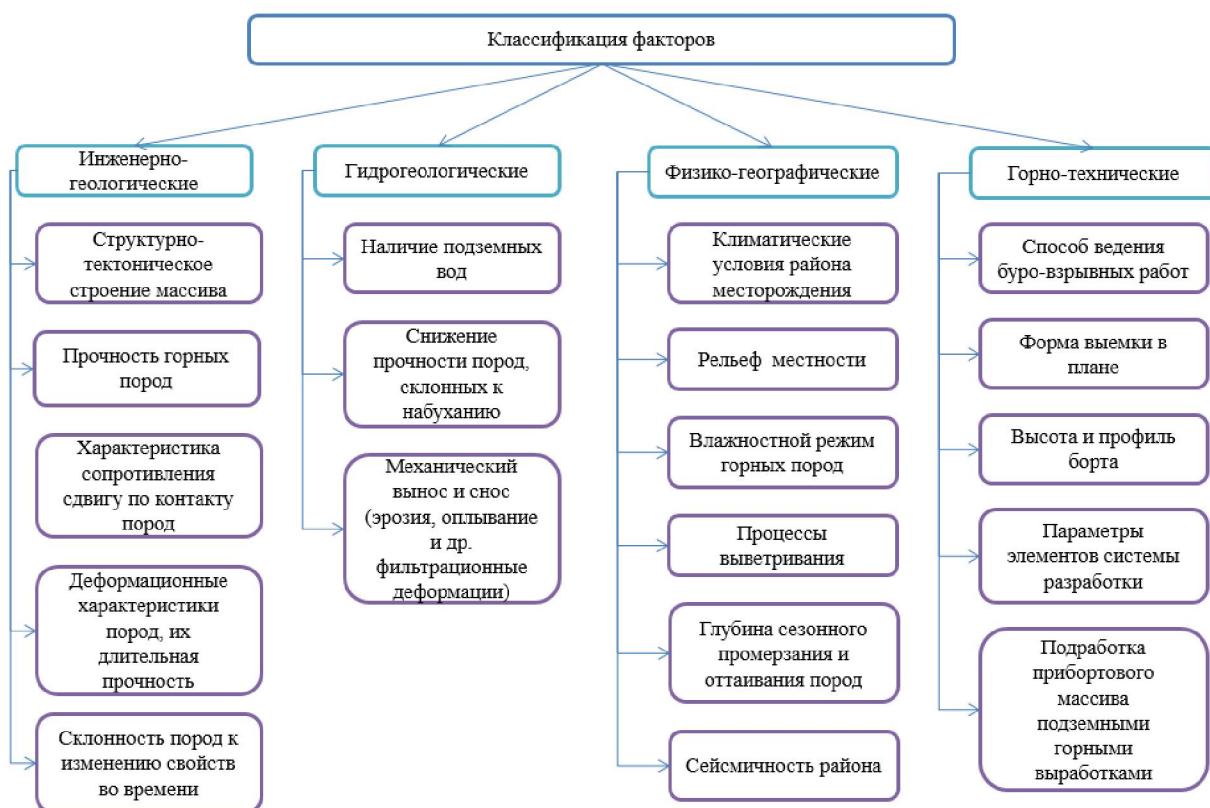


Рисунок 1 – Классификация факторов, влияющих на устойчивость уступов и бортов карьеров

К наиболее существенным инженерно-геологическим факторам относят структурно-тектоническое строение массива горных пород, прочность и деформационные характеристики пород, склонность пород в откосах к изменению свойств с течением времени (набухание, разуплотнение, выветривание, выщелачивание) (рисунок 1) [2, 9, 10].

Деформации бортов в скальных массивах могут происходить как в виде внезапных обрушений, так и в виде вялотекущего деформационного процесса с периодическими сменами этапов тектонического и гравитационного деформирования [1].

Главными причинами деформаций прибортовых массивов, присущие всем карьерам, являются:

- несоответствие параметров уступов и бортов реальным инженерно-геологическим условиям участка деформации;

- слабая изученность массива на периферийных участках месторождения, в массивах которых отстраиваются предельные борта карьера;

- изменение инженерно-геологических, гидрогеологических условий и физико-механических свойств пород и их контактов при развитии внутрикарьерного пространства;

- воздействие на массив тектонических сил, сопровождающееся изменением структурного строения и подвижности прибортовых массивов;

- действие более высоких, по сравнению с приповерхностными, напряжений, измененными деформационно-прочностными свойствами массивов горных пород и техногенными нарушениями.

Рассмотрим на примере Сарбайского месторождения магнетитовых руд влияние различных факторов на изменение параметров бортов карьера при увеличении глубины отработки. Месторождение разрабатывается открытым способом Сарбайским карьером с 1960 года. Карьер вскрыт двумя траншеями: юго-восточной до отметки 125 м (глубина 70 м), связывающей карьер с фабрикой и отвалом, и северной траншеей на глубину 15 м, по которой транспортируется только порода в отвал.

Параметры карьера на конец 2017 года и проектируемые параметры на конец отработки с учетом отработки запасов руды на глубоких горизонтах представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры Сарбайского карьера

Параметры	Существующие параметры	Проектные параметры с учетом углубки
Отметка дна карьера, м	Минус 390 м	Минус 500 м
Ширина, м	2400 м	2400 м
Длина, м	3450 м	3450 м
Высота уступа: Рыхлые породы	10-13 м	10-13
Скальные породы	40 м	40 м
Угол наклона уступа: Рыхлые породы	25-50°	25-50
Скальные породы	55°-65°	55-70°

Главной особенностью месторождения является его двухъярусное строение. Палеозойские (главным образом, каменноугольные) отложения образуют складчатый фундамент, а перекрывающие их с резким угловым несогласием горизонтально залегающие рыхлые мезозойско-кайнозойские отложения - платформенный чехол мощностью 150 ÷ 230 м.

Месторождение сложено мощной толщей рыхлых песчано-глинистых отложений мезо-кайнозойского возраста, залегающих на скальных породах, представленных разнообразными эффузивно-осадочными, интрузивными, метасоматическими породами и рудными телами Сарбайское железорудное месторождение относится к слоистым месторождениям с четко выраженными и закономерно расположенными поверхностями ослабления большой протяженности в виде напластования, контактов слоев или сланцеватости.

Породы покровной толщи в условиях предварительного осушения обладают вполне достаточной устойчивостью в откосах карьера. Однако, происходит оплывание и обрушение откосов, сложенных меловыми песками, неогеновыми глинами и четвертичными суглинками в следствии их влагонасыщения.

В целом инженерно-геологические условия отработки Сарбайского карьера сложные, что обусловлено прочностными свойствами пород, структурой массива (большая мощность рыхлых пород до 140 м, наличие поверхностей ослабления: слоистость в рыхлых породах, трещиноватость, сланцеватость в скальных породах), склонностью пород к выветриванию, гидрологическими факторами - обводненностью скальных и рыхлых пород.

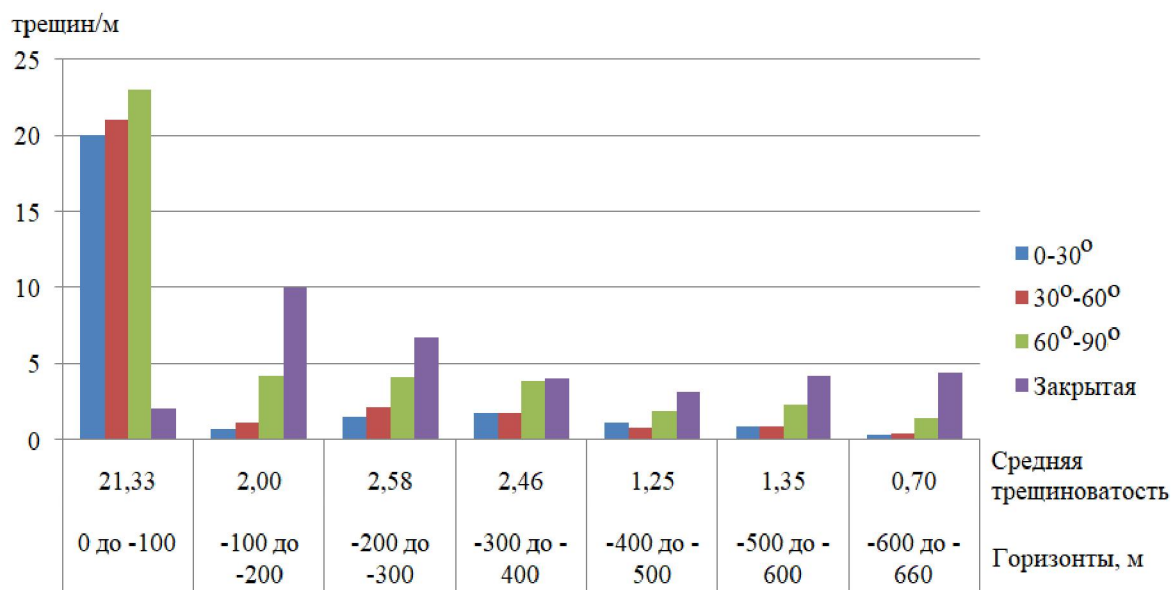


Рисунок 2 – Результаты определения трещиноватости массива горных пород по геотехническому бурению

На устойчивость бортов и уступов Сарбайского карьера оказывают влияние следующие факторы - наличие поверхностей ослабления (трещиноватость, слоистость в рыхлых породах, сланцеватость в скальных породах), обводненность, низкие прочностные свойства горных пород. Основным фактором является интенсивная трещиноватость отдельных участков. Изучение трещиноватости производилось методами обработки результатов геотехнического бурения скважин (рисунок 2) и обработки данных полевых исследований. В ходе бурения вертикальных скважин длиной до 7 метров для определения действующих напряжений в массиве также произведена телеинспекция скважин [11].

По результатам геотехнического бурения отмечена тенденция увеличения блочности массива с глубиной, на глубоких горизонтах с отметки минус 400 м (600 м от поверхности) выявлены зоны пород с малой трещиноватостью, приближающиеся к монолитным породам. В целом трещиноватость пород Сарбайского карьера развита неравномерно от слаботрешиноватых (1-3 трещин/метр - в пределах зоны неизменных пород) до интенсивно трещиноватых (до 20 трещин/метр – в пределах зон тектонических нарушений).

Основное количество открытых трещин (более 60%) ориентировано в субвертикальном направлении с углами падения 60° до 90°, без заполнителя, раскрытые вследствие выветривания. Доминирующая часть трещин закрытого типа -крутопадающие субширотного простирания [12-16]. Отмечается возрастание углов падения трещиноватости пород с глубиной. Полости закрытых трещин обычно заполнены неустойчивым кальцито-хлоритным материалом, реже гематитом, магнетитом, пиритом.

Для построения точной модели структурных нарушений и неоднородностей с учетом основных закономерностей распределения и взаимоотношений трещиноватости разных систем в полевых условиях проводилась предварительная фотосъемка уступов карьера и многопараметрическая документация элементов трещиноватости и структурных неоднородностей. Для определения трещиноватости скальных пород были выбраны наиболее информативные снимки фотодокументации, что позволило охарактеризовать литологические и петрологические типы горных пород в пределах восточного и южного бортов Сарбайского карьера, в сторону которых направлено дальнейшее ведение горных работ (таблица 2).

Таблица 2 - Характеристика основных параметров систем трещин южного и восточного бортов Сарбайского карьера

	1 система	2 система	3 система	4 система	5 система	6 система
Генезис	Тектонические трещины скола					
Число трещин	223	280	91	85	26	42
Азимут падения	<u>277,28-</u> <u>301,53</u> 289,41	<u>321,4-334,73</u> 328,02	<u>38,73-64,43</u> 52,99	<u>358,8-359,5</u> 357,24	<u>175,36-180,1</u> 177,24	<u>186,15-210,0</u> 198,09
Азимут простирания	<u>7,28-</u> <u>31,53</u> 19,41	<u>51,41-64,73</u> 58,06	<u>128,73-155,4</u> 142,99	<u>88,8-89,47</u> 89,2	<u>85,36-90,15</u> 87,24	<u>96,15-120,02</u> 108,09
Угол падения	<u>41,04-</u> <u>60,68</u> 52,68	<u>28,83-64,05</u> 36,8	<u>60,35-88,23</u> 77,95	<u>18,0-54,3</u> 19,42	<u>1,00-5,00</u> 2,53	<u>52,42-90,0</u> 78,33
Длина, м	<u>0,14-</u> <u>15,45</u> 1,07	<u>0,14-3,90</u> 0,83	<u>0,20-4,25</u> 1,18	<u>0,11-4,12</u> 0,88	<u>0,15-1,68</u> 0,64	<u>0,10-3,14</u> 0,53
Ширина	<u>0,50-5,00</u> 2,50	<u>1,00-10,00</u> 3,00	<u>1,00-7,00</u> 2,00	<u>2,00-12,00</u> 2,50	<u>0,50-10,00</u> 2,00	<u>1,00-25,00</u> 2,00
Расстояние между трещинами, м	<u>0,09-1,40</u> 0,61	<u>0,16-1,25</u> 0,56	<u>0,25-1,96</u> 0,78	<u>0,23-1,60</u> 0,70	<u>2,50-5,21</u> 3,43	<u>0,11-1,46</u> 0,58
Форма	Плоская	Ступенчатая	Волнистая	Ступенчатая	Волнистая	Ступенчатая
Поверхность стенок	Щероховатая					

Трещиноватость существенно определяет прочностные и деформационные свойства массива и связанное с этим развитие опасных геологических и инженерно- геологических явлений [17-20]. На Сарбайском карьере в период с 30.03.2009 г. по 27.04.2016 г. произошло 4 обрушения, 3 из них на северо-западе, при постановке борта в конечное положение, и последнее в пределах горизонтов минус 110 ÷ минус 140 м на восточном борту.

Во всех случаях характерным является наличие туффитов, слагающих уступы бортов карьера. Для них свойственна хорошо выраженная слоистая текстура с мощностью слойков от нескольких миллиметров до десятков сантиметров и первых метров (Рисунок 3). В пределах скарново-рудной зоны месторождения туффиты интенсивно изменены, вплоть до перехода в метасоматиты и скарны.



Рисунок 3 - Слоистая текстура туффитов Южного борта карьера, горизонт 0 м

Поскольку поверхности наслоения изначально ослаблены, то в дальнейшем по ним образуют трещины отрыва и скола. Хорошо показывает зависимость трещиноватости от слоистости пород I система трещин, совпадающая с полосчатостью и слоистостью руд и пород (таблица 3).

Таблица 3 - Трещиноватость различных литотипов горных пород восточного и южного бортов Сарбайского карьера

№	Породы	Среднее расстояние между трещинами, м	Модуль трещиноватости, тр/м
1	Туфы	0.98	1.02
2	Известняки	0.81	1.23
3	Туффиты	0.30	3.33

Телеинспекция стенок производилась по пробуренным горизонтальным скважинам на трех экспериментальных участках. Первый экспериментальный участок располагается в западной части карьера (гор. -240 м), второй и третий участки располагаются в северо-восточной части карьера (гор. -240 м и гор. -320 м). Каждый экспериментальный участок включает три замерные станции по три скважины. Предварительный анализ показал, что массив в бортах карьера характеризуется высокой трещиноватостью вмещающих пород. Основное количество открытых трещин ориентировано в субвертикальном направлении. Расстояние между трещинами варьируется в диапазоне от 5-10 до 300-400 мм. Кроме субвертикальной в бортах карьера присутствует и субгоризонтальная трещиноватость. В среднем на погонный метр скважины приходится 3-4 трещины.

Учет влияния трещиноватости на свойства массива производится с помощью коэффициента структурного ослабления λ , который позволяет переходить от значений сцепления горных пород в образце к сцеплению пород в массиве [3]. По результатам натурных замеров параметров трещиноватости получена логарифмическая зависимость коэффициента структурного ослабления от величины сцепления в образце (рисунок 5).

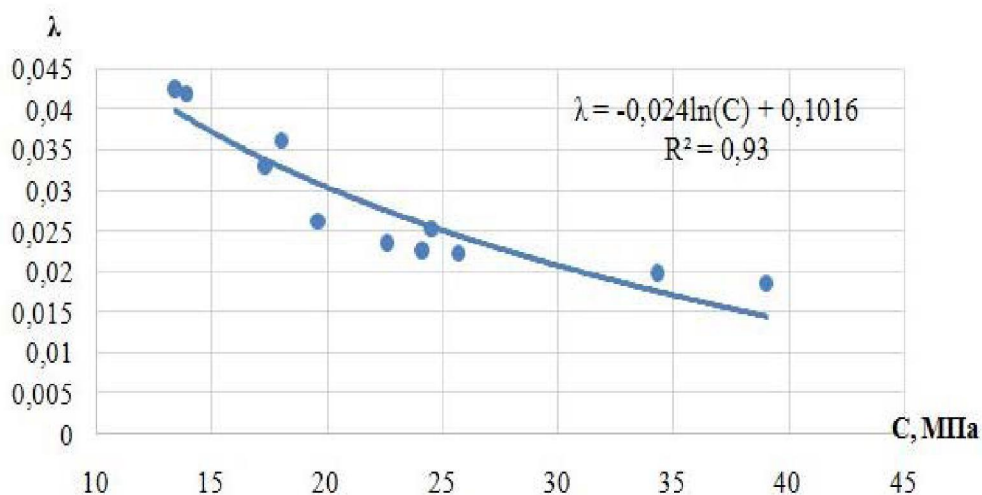


Рисунок 5 - Зависимость коэффициента структурного ослабления (λ) от величины сцепления в образце (C)

Исходные физико-механические данные для расчета устойчивости бортов карьера с учетом трещиноватости представлены в таблице 4[21].

На Сарбайском месторождении при углубке карьера до отметки минус 500 м к природным (естественным) поверхностям ослабления можно отнести I систему трещин, интенсивно проявленную в околорудных туффитах. Наиболее неблагоприятные инженерно-геологические условия будут наблюдаться в восточной части карьера, так как углы падения пород, слагающих восточный борт и проявленной в них I системы трещин близки к углам наклона уступов (таблица 5), что может привести к возникновению локальных деформаций, не вызывающие потери общей устойчивости борта.

Таблица 4 – Расчетные прочностные характеристики пород по данным испытаний kernового материала

Основной комплекс пород	Размер блока l, м	Коэффициент структурного ослабления, λ	Показатели в образце		Расчетные показатели в массиве, n=1,3			Плотность, $\gamma, \text{т/м}^3$
			Удельное сцепление C_0 , МПа	Угол внутреннего трения	Сцепление C_m Мпа	Сцепление C_m т/м ²	Угол вн. трения	
Туфы	0,61	0,0219	30,08	37,06	0,65	66,04	37,06	2,77
Диориты	0,82	0,02	43,50	35,00	0,88	89,60	35,00	2,84
Туффиты	0,26	0,03	18,53	36,10	0,54	54,83	36,10	2,84
Руда	0,66	0,02	20,57	38,00	0,47	47,90	38,00	3,61
Известняки	0,63	0,0361	18,00	35,00	0,65	66,30	35,00	2,81
Метасоматиты	0,28	0,04	15,60	35,00	0,58	58,95	35,00	2,86

Таблица 5 – Данные по трещиноватости Восточного борта

№ скважины	Открытая трещиноватость						Общее количество открытых трещин	Закрытая трещиноватость
	0-30°		30-60°		60-90°			
	Кол-во трещин	%	Кол-во трещин	%	Кол-во трещин	%		
3	193	14,5	279	21	858	64,5	1330	797
4	125	18,7	110	16,4	432	64,7	667	1095
5	355	14	629	25	1535	61	2519	1926

Для обеспечения устойчивости проектных параметров уступов Восточного борта необходимо:

- заоткоску производить по согласным трещинам с помощью отрезных щелей, взрыванием наклонных скважин под углом падения трещин (60°);
 - применение противодеформационной (сейсмооберегающей) технологии заоткоски уступов на предельном контуре в скальных породах;
 - своевременно создавать отрезную щель при подходе горных работ к приоткосной зоне.
- Параметры отрезной щели должны в достаточной мере снижать динамическое действие взрыва.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А.В. Яковлев. Геомеханическое обеспечение формирования бортов карьеров и отвалов. Проблемы недропользования №4, 2016 г. УДК 622.271.333: 624.131.537 DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.075. С 75-80.
- [2] Б.Р. Ракишев, А.Н. Шапенко, А.С. Ковров. Геомеханическая оценка устойчивости бортов карьеров и отвалов. Алматы: «Гылым» НАН РК, 2017. – 234 с. ISBN 978-601-323-103-7.
- [3] Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. Издание 2. Недра, Москва, 1965 г., 378 стр., УДК: 622.271.001.5
- [4] Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. Издательство Московского государственного горного университета, Москва, 2003 г., 473 стр., УДК: 622.015, ISBN: 5-7418-0228-1.
- [5] Ф. Я. Умаров. Воздействие факторов, влияющих на устойчивость бортов карьеров. «Известия вузов. Горный журнал», № 1, 2014. Стр 85-92. ISSN 0536-1028. УДК 622.271.333.539.
- [6] Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1986. 172 с.
- [7] Елифанова М.С., Федоров С.А., Козырев А.А., Рыбин В.В., Волков Ю.И. Инженерно-геологические аспекты проектирования глубокого карьера Ковдорского ГОКа // Горный журнал. 2007. №9. — С. 30–33.
- [8] А. Г. Верхотуров, И. Б. Размахнина, А. И. Чернов. Анализ влияния инженерно-геологических факторов на устойчивость бортов карьеров Татауровского бурогольного месторождения. Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2016 г. С. 20 – 33.
- [9] Бабелло В.А., Смолич К.С. К вопросу об определении параметров прочности горных пород для оценки устойчивости обнажений скальных массивов. Москва: Геомаркетинг. Инженерная геология. 2013 г. № 3. Стр. 54-57. ISSN: 1993-5056.

- [10] Жиров Д.В., Мелихова Г.С., Рыбин В.В., Климов С.А. Новая методика комплексные инженерно-геологические и геомеханические исследования массивов пород в целях проектирования и эксплуатации глубоких карьеров. Conference: Глубокие карьеры, At Apatity, Murmansk Region, Russia. DOI: 10.13140/2.1.2081.8242. Стр. 368 – 381.
- [11] Барях А.А., Л.С. Шамганова, В.Н. Токсаров, Самоделкина Н.А., Бердинова Н.О. Напряженно-деформированное состояние горных пород в прибортовом массиве Сарбайского карьера. Международная научно-практическая конференция «50 лет Российской научной школе комплексного освоения недр Земли». ИПКОН РАН, г. Москва. 13-16 ноября 2017 г. С. 34-40.
- [12] Ю.Л. Юнаков, В.А. Чумляков, А.Н. Хозяинов, М.В. Шпакова. Изучение трещиноватости горного массива. С. 690 – 693.
- [13] Ожогина Т.В., Ольховатенко В.Е., Трофимова Г.И. Методы изучения трещиноватости горных пород. Издательство Томского государственного архитектурно-строительного университета, Томск, 2015 г., 80 стр., УДК: 551.252 (075.8), ISBN: 978-5-93057-676-4.
- [14] Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л., Шпакова М.В., Чумляков В.А. влияние трещиноватости на устойчивость бортов карьера и ее изменчивость по площади и глубине на Горевском месторождении. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015 г. С. 32 - 38
- [15] Hodgson, R. A. 1961. Classification of structures on joint surfaces. American Journal of Science 259,493-502.
- [16] Pollard, D. D. & Fletcher, R. C. 2005. Fundamentals of structural geology. Cambridge University Press, Cambridge, 500 p.
- [17] В.А. Букринский. Геометрия недр. Москва: «Горная книга». 2016 г. С. 550. ISBN: 978-5-98672-427-0. UDK: 622:502.7.
- [18] John R., Peter S. Guidelines for open pit slope design. 2009. Print: Large Hard cover – CSIRO Publishing.
- [19] Pollard D.D., Fletcher R.C. Fundamentals of Structural Geology. Cambridge University Press, 2005. — 516 p. — ISBN: 0521839270, 9780521839273.
- [20] Paul Schlotfeldt, Davide Elmo, Brad Panton. Overhanging rock slope by design: An integrated approach using rock mass strength characterisation, large-scale numerical modelling and limit equilibrium methods. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 10, 2018. 72 – 90 p.
- [21] Baltiyeva A.A., Altayeva A.A., Sedina S.A., Shamganova L.S., Tulebayev K.K. Sarbai mining open pit stable state edges geomechanical monitoring using software Usto4d. Informatics, geoinformatics and remote sensing conference proceedings, SGEM 2016, VOL II. International Multidisciplinary Scientific GeoConference - SGEM. Bulgaria, Albena, 2016, P 525-530.

Б.Р.Ракишев¹, С.В. Кузьменко², С. А. Съедина³, К.К. Тулебаев³

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан¹
Соколов-Сарыбай кен-байыту комбинатының өндірістік ұйымы (ССҚӨБ), Рудный, Қазақстан²
Д.А.Қонаев атындағы Тау-кен істері институты, Алматы, Қазақстан³

САРБАЙ КАРЬЕРІ МЫСАЛЫНДА КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН КЕН-ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІН ТАЛДАУ

Аннотация: Заманауи карьерлер үшін күрделі тау-геологиялық шарттармен кен орындарды жүзеге асыруға өңдеу және тартудағы кен қазбаларын өндірудің күрделілігімен сипатталады. Мұндай жағдайда ойық шеттерінің және тараптардың тұрақтылығына геомеханикалық қолдаудың маңыздылығына ие болады. Ашық тау-кен өндіру тәжірибесінде авторлардың пікірлеріне байланысты тұрақтылыққа әсер ететін факторлардың бірнеше тобы анықталған, бұл факторлар екі немесе одан да көп топтарға біріктірілуі мүмкін [1-5].

Мақалада Д.А.Қонаев атындағы Тау-кен істері институтымен жүргізілген тау жыныстарының массивін сынықтылығы, сыну жүйелерінің ойық пен борттардың тұрақтылығына әсері ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижелері көрсетілген. Мысал ретінде Сарбай темір карьері алынған, оның дамуы үшін тереңдіктің артуымен және терен кендерді игеруге көшуімен сипатталады. Тау-кен жұмыстарын жүргізу кезінде назар аударуды қажет ететін карьер тараптарының нақты учаскелері анықталды.

Түйін сөздер: ашық тау-кен жұмыстары, карьер, борт, ойық, түрдің өзгеруі, тұрақтылық, сыну, массив.