

УДК 622.271.33

Харисов Тимур Фаритович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории геомеханики подземных сооружений,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка д. 58
e-mail: timur-ne@mail.ru

Харисова Ольга Дмитриевна

младший научный сотрудник
лаборатории сдвижения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: olgazheltysheva@gmail.com

Ефремов Евгений Юрьевич

младший научный сотрудник
лаборатории сдвижения горных пород
Институт горного дела УрО РАН
email: efremov-eu@mail.ru

Коновалова Юлия Павловна

научный сотрудник
лаборатории сдвижения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: lisjul@mail.ru

Турсуков Александр Леонидович

младший научный сотрудник
лаборатории сдвижения горных пород
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: tursukman@mail.ru

**ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ
БОРТОВ КАРЬЕРА КИЕМБАЕВСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ****Аннотация:*

Согласно нормативным документам, для определения и обоснования параметров бортов и уступов карьеров должен быть выполнен расчет коэффициента запаса устойчивости с помощью классических методов предельного равновесия. Данные методы не учитывают такие факторы, как современная геодинамика и параметры структурных нарушений в массиве, которые оказывают негативное влияние на устойчивость бортов и уступов карьеров. В статье приведены результаты исследований устойчивости бортов карьера Киембаевского месторождения, где произошло обрушение уступов на западном борту. Для выявления причин обрушения произведена актуализация физико-механических свойств пород, слагающих прибортовой массив. На основании полученных данных выполнен расчет коэффициента запаса устойчивости по фактическому контуру карьера. Результаты расчетов показали, что борта и уступы карьера находятся в устойчивом состоянии, но в реальности это не подтверждается. Основной причиной нарушения являются не низкие прочностные свойства массива, а образование протяженных трещин сдвигового характера, вызванных процессами деформирования в условиях повышенного сжатия в одном направлении и депрессией во втором, с нарушением первичной структуры массива горных пород. Так как учет данного фактора является практически невозможным, то для обеспечения безопасного функционирования карьера необходимо проводить мони-

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.04.033

Kharisov Timur F.

candidate of technical sciences,
senior researcher,
The Institute of Mining UB RAS,
620075, Yekaterinburg,
58 Mamin-Sibiryak st.
e-mail: Timur-ne@mail.ru

Kharisova Olga D.

junior researcher,
The Institute of Mining UB RAS
e-mail: olgazheltysheva@gmail.com

Efremov Evgeniy Yu.

junior researcher,
The Institute of Mining UB RAS
e-mail: efremov-eu@mail.ru

Konvalova Yuiva P.

researcher,
The Institute of Mining UB RAS
e-mail: lisjul@mail.ru

Tursukov Alexander L.

junior researcher,
The Institute of Mining UB RAS
e-mail: tursukman@mail.ru

**PROBLEMS OF ASSESSMENT THE STABILITY
OF PIT EDGES OF THE KIYEMBAYEVSKY
DEPOSIT***Abstract:*

According to normative documents, for definition and grounding the parameters of pits edges and benches the calculation of of stock stability coefficient by means of classical methods of extreme balance has to be executed. These methods don't consider such factors as modern geodynamics and parameters of structural disturbance in the rock mass that exert negative impact on stability of pits edges and benches. The results of researches on stability of pit' edges s of the Kiyembayevsky field where there was a collapse of benches on the western board are given in the article. Updating physic mechanical properties of composing rock mass is made for determination the reasons of collapse. In terms of the obtained data calculation the coefficient of stock stability for the actual contour of a pit is executed. The results of calculations have shown that edges and benches of a pit are in a steady state, but in reality it isn't confirmed. Not low strength properties of rock mass, and formation of the extended cracks of shift character caused by processes of deformation in the conditions of the increased compression in one direction and a depression in the second with violation of primary structure of rock mass is the main reason for violation. As accounting of this factor is almost impossible, for ensuring safe functioning of a pit it is necessary to carry out monitoring of deformations of rock mass in the course of mining. Taking into account geo-mechanical conditions of working off the Kiyembayevsky pit, the design of observing station has been developed for monitoring the deformation processes of rock mass. It includes two traditional

* Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-01398-1700. Тема № 0405-2015-0012. Тема 3

торинг деформаций прибортового массива в процессе разработки месторождения. С учетом геомеханических условий отработки Киембаевского карьера была разработана конструкция наблюдательной станции для мониторинга деформационных процессов прибортового массива. Она включает в себя две традиционные профильные линии и две локальные наблюдательные станции. Наблюдения за состоянием прибортового массива далеко не всегда дают возможность предотвратить обрушения и оползни, но позволяют снизить возможный ущерб от них и особенно риск для людей, находящихся в карьере.

Ключевые слова: устойчивость бортов, карьер, уступы, параметры бортов, трещиноватость, прибортовой массив, поверхность скольжения, коэффициент запаса устойчивости, наблюдательная станция, реперы, мониторинг

profile lines and two local observing stations. Observations of rock mass condition not always give the chance to prevent collapses and landslides, but allow to reduce possible damage from them and especially the risk for people who are in the pit.

Key words: stability of edges, pit, benches, parameters of edges, jointing, rock mass of an edge, surface of sliding, stability stock coefficient, observing station, reference points, monitoring.

Введение

Количество месторождений, разрабатываемых открытым способом, преобладает по сравнению с подземным. На его долю приходится около 83 % мировой добычи руд и около 50 % мировой добычи угля, что делает проблему обеспечения устойчивости бортов карьеров весьма актуальной для горной науки и горнодобывающей промышленности [1].

На стадии проектирования карьера для определения и обоснования параметров его бортов выполняется расчет коэффициента запаса устойчивости, который учитывает геологическое строение массива, его обводненность, прочностные характеристики пород и др. Однако остаются неучтенными такие факторы, как современная геодинамика и параметры структурных нарушений в массиве, а именно системы трещин, их направление по простиранию, угол падения, заполнитель и раскрытие, которые оказывают негативное влияние на устойчивость бортов и уступов карьеров [2, 3].

Объект исследования

Примером проявления негативного влияния перечисленных выше факторов является Киембаевский карьер по добыче хризолит-асбеста АО «Оренбургские минералы», где 17.04.2017 произошло обрушение уступов западного борта. Обрушениехватило участок длиной по простиранию более 500 м и по высоте от отметки 240 м до 315 м (рис. 1).



Рис. 1 – Нарушенный участок западного борта Киембаевского карьера

Исследуемый массив Киембаевского месторождения приурочен к скальному и полускальному трещиноватому комплексу пород. Асбестовые руды и вмещающие породы месторождения представлены серпентинитами, серпентинитами с ядрами перидотитов и серпентинизированными перидотитами, которые в тектонических зонах прорваны дайками диоритовых порфириров, микродиоритов и гранатопироксеновых пород.

Для анализа физико-механических свойств вмещающих пород и руд были отобраны образцы непосредственно на уступах карьера для последующих испытаний их прочностных свойств. По результатам испытаний были построены паспорта прочности пород и определены показатели угла внутреннего трения и сцепления в образце (табл. 1).

Таблица 1

Результаты испытаний прочностных свойств пород в образце

№ пробы	Порода	Местоположение		Предел прочности, МПа		Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.
		Борт	Горизонт, м	При сжатии	При растяжении		
21	Выветрелый серпентинит с прожилками магнетита	восточный	360	87,6	6,1	22,2	36,5
22	Слабоизмененный серпентинит	восточный	330	116,7	19,9	36,0	26,6
22	Слабоизмененный серпентинит	восточный	330	171,4	17,4	47,2	32,3
22	Слабоизмененный серпентинит	восточный	330	124,0	17,9	36,9	28,4
23	Неизмененный серпентинит	восточный	315	125,9	12,7	34,6	32,4
24	Слабоизмененный серпентинит	восточный	285	108,9	7,1	27,1	37,1
25	Неизмененный серпентинит	восточный	270	93,8	9,4	25,8	32,4
26	Руда		225	82,9	9,2	23,3	31,3
27	Серпентинит зеленый с черными прожилками	западный	330	39,1	4,5	11,1	30,9
37	Неизменный серпентинит с трещинами	западный	315	80,0	7,1	21,4	33,7

Следует отметить, что прибортовой массив карьера характеризуется большим многообразием заполнителей трещин, прочностные характеристики которых представлены в табл. 2. При этом незалеченных трещин очень мало. Свойства контактов в наибольшей степени будут оказывать влияние на устойчивость отдельных уступов и небольших трещиноватых участков бортов и в меньшей степени – на устойчивость всего борта в целом.

Таблица 2

**Прочностные характеристики контактов во вмещающем массиве
Киембаевского месторождения**

№ п/п	Заполнитель трещин	Сцепление, т/м ²	Угол трения, град
1	Брусит	4	15
2	Магнезит	6 – 8	15
3	Серпентинит	10	20
4	Тальк	2	12
5	Офит	8	15
6	Асбестофит	10 – 20	22
7	Гематит	8	15
8	Глинка трения	2	12

Прочностные свойства трещиноватого массива значительно отличаются от прочности образца, и для перехода от сцепления пород в образце C_0 к сцеплению в массиве C_M используется коэффициент структурного ослабления λ :

$$C_M = \lambda C_0. \quad (1)$$

Он зависит от ряда факторов, связанных с характером структурного строения массива, с его однородностью и прочностью пород.

Величина сцепления пород в массиве приближенно может быть определена по формуле

$$C_M = \frac{C_0 - C^*}{1 + a^* \ln(H/l_T)} + C^*, \quad (2)$$

где C^* – сцепление по контактам между блоками;

a^* – коэффициент, зависящий от прочности пород в образце и характера трещиноватости;

H – высота борта, м;

l_T – средний размер блоков, м.

При расчетах устойчивости бортов карьера в характеристики сопротивления сдвигу вводится коэффициент запаса n , который в соответствии с рекомендациями «Правил...» [4 – 6] принимается равным 1,5. Расчетные характеристики прочности пород определяются по формулам:

$$C_n = \frac{C_M}{n}, \quad (3)$$

$$\phi_n = \arctg \frac{\operatorname{tg} \phi}{n}. \quad (4)$$

При расчете прочностных свойств прибортового массива восточного борта использовались средние значения физико-механических свойств пород в образцах проб № 21 – 25, а для западного и южного бортов использовались средние значения прочностных свойств пород в образцах проб № 27 и № 37.

На основании выполненных по формулам (1 – 4) расчетов были определены характеристики массива, представленные в табл. 3.

Таблица 3

Принятые значения физико-механических свойств пород Киембаевского карьера

Плотность, γ , т/м ³	Сцепление, C_n , т/м ²	Угол внутреннего трения, φ_n , град	Цвет отображения пород на расчетной схеме
Для прибортового массива восточного борта			
2,45	28,0	21,3	
Для прибортового массива западного и южного бортов			
2,45	16,0	21,3	

Методы исследования

Для определения причин произошедшего нарушения и разработки мероприятий, обеспечивающих безопасное ведение горных работ, была выполнена многовариантная оценка устойчивости бортов карьера по фактическому контуру на основании актуализированных физико-механических свойств пород, слагающих прибортовой массив (см. табл. 3).

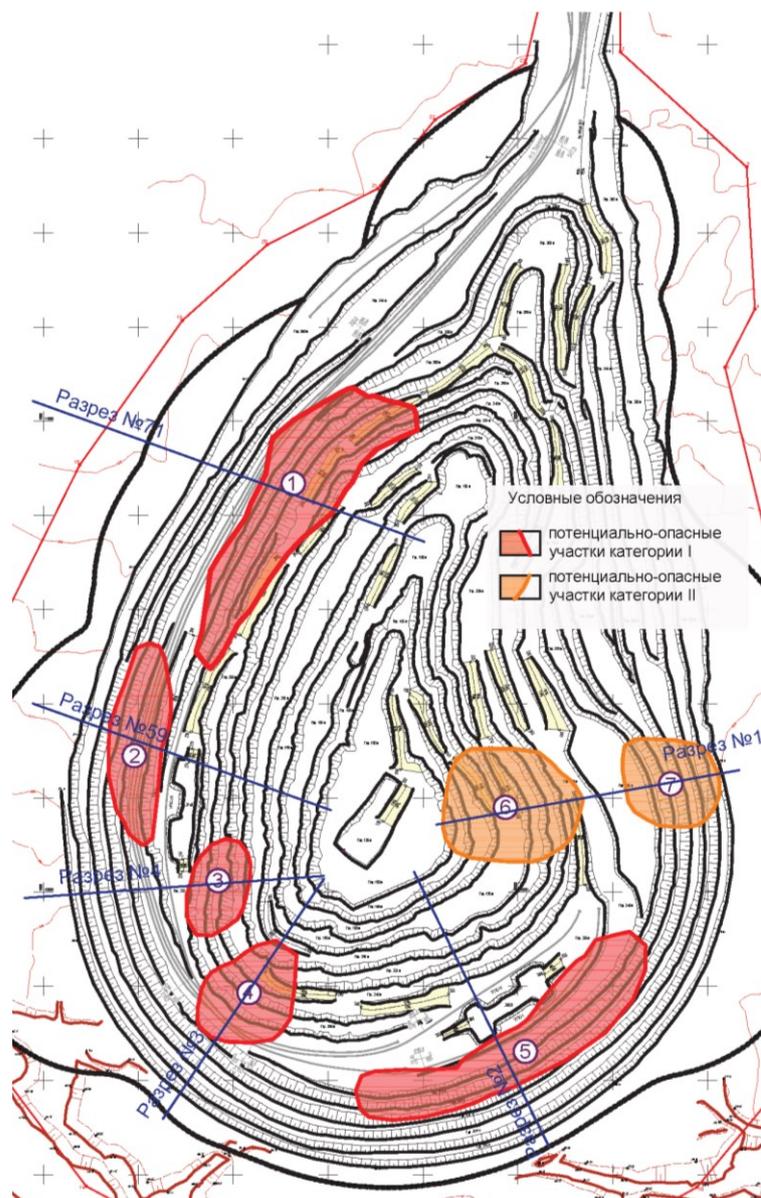


Рис. 2 – Схема расположения расчетных сечений для оценки устойчивости бортов и уступов Киембаевского карьера

Для расчета устойчивости бортов и уступов карьера построено 6 расчетных сечений, плановое положение которых представлено на рис. 2. Расчетные сечения проходят через потенциально опасные участки № 1 – 7, выявленные по результатам комплексного анализа влияющих негативных факторов, на западном, восточном и южном бортах Киембаевского асбестового карьера.

В программном комплексе SCAD Office «Откос» была произведена многовариантная оценка устойчивости бортов карьера и его уступов с использованием четырех классических методов: Федоровского-Курилло, Бишопа (упрощенный), Филлениуса, Янбу (упрощенный). Методы отличаются друг от друга способом построения поверхности скольжения и используемым в расчетах математическим аппаратом. Подробное описание методов представлено в литературных источниках [7 – 10].

Результаты исследований

Результаты вычисления коэффициента запаса устойчивости по фактическому контуру представлены в табл. 4. На рис. 3 представлена схема наиболее вероятных поверхностей скольжения на расчетном сечении, совпадающем с положением геологического разреза № 71, по фактическому контуру Киембаевского карьера, где произошло обрушение уступов.

Значения коэффициента запаса устойчивости, полученные различными методами расчета, отличаются друг от друга в пределах 10 – 15 %. Южный, западный и восточный борта находятся в устойчивом состоянии с минимальным коэффициентом запаса устойчивости 1,350 у юго-западного борта и максимальным коэффициентом 1,726 у восточного борта карьера. Однако отдельные уступы на потенциально опасных участках бортов карьера находятся в граничном состоянии и имеют коэффициент запаса устойчивости от 0,937 до 0,960.

На участке борта на геологическом разрезе № 71 в интервале горизонтов 230 – 315 м, где произошло обрушение уступов, при расчете классическими методами коэффициент запаса устойчивости составил 1,128, то есть уступы находятся в устойчивом состоянии, однако в реальности это не так.

Исходя из полученных результатов расчета, можно сделать вывод, что классические методы алгебраического и векторного сложения сил, которые согласно существующим нормативным документам [5, 6] необходимо выполнять для оценки устойчивости бортов карьеров, не всегда достоверно ее отражают.

В настоящее время все большее распространение приобретает метод математического моделирования. Однако в простых условиях результаты вычислений, полученные с помощью обоих методов, как правило, близки между собой (рис. 4) [11].

Причина заключается в том, что математическое моделирование обычно не учитывает трещинообразование, которое в блочной напряженно-деформированной среде представляет собой очень сложный процесс, включающий как детерминированную, так и стохастическую составляющие [11 – 13].

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что причиной нарушения исследуемого участка борта карьера являются не низкие прочностные характеристики массива, а образование протяженных трещин сдвигового характера, вызванных дилатационными процессами деформирования в условиях повышенного сжатия в одном направлении и депрессией во втором, с нарушением первичной структуры массива горных пород.

Так как учет данного фактора является практически невозможным, то для обеспечения безопасного функционирования карьера необходимо проводить мониторинг деформаций прибортового массива в процессе разработки месторождения. Систематический контроль за состоянием уступов, бортов и территорий, прилегающих к карьере, является необходимым условием бесперебойной работы горного предприятия [14, 15].

Таблица 4

Результаты вычисления коэффициента запаса устойчивости по фактическому контуру

Номер задачи	Коэффициент запаса устойчивости, рассчитанный различными методами				Средний коэффициент запаса	Автоматический подбор наиболее вероятной поверхности скольжения (Интервал по горизонтальной оси расчетной схемы)		Цвет линии скольжения
	Федоровского – Курилло	Филлениуса	Бишопа (упрощенный)	Ямбу (упрощенный)		Левая граница, м	Правая граница, м	
Линия разреза № 1 (восточный борт)								
1	1,724	1,695	1,809	1,677	1,726	0/200	795/855	
2	1,242	1,224	1,291	1,159	1,229	0/200	364/465	
3	1,626	1,592	1,677	1,488	1,596	475/545	630/692	
4	2,038	2,044	2,068	1,882	2,008	269/285	364/465	
5	2,9	2,883	3,071	2,638	2,873	0/200	269/285	
Линия разреза № 3 (юго-западный борт)								
1	1,334	1,331	1,422	1,313	1,350	0/200	742/816	
2	2,494	2,53	2,673	2,272	2,492	0/200	243/260	
3	1,264	1,245	1,308	1,175	1,248	281/297	355/368	
4	2,015	2,002	2,136	1,894	2,012	321/328	550/573	
5	2,211	2,213	2,36	2,055	2,210	355/405	497/536	
Линия разреза № 4 (западный борт)								
1	1,359	1,344	1,418	1,335	1,364	0/200	730/780	
2	1,137	1,13	1,18	1,081	1,132	0/200	346/367	
3	2,02	2,018	2,151	1,900	2,022	403/451	584/607	
4	2,122	2,119	2,24	1,970	2,113	584/607	684/702	
Линия № 2 (юго-восточный борт)								
1	1,695	1,675	1,762	1,412	1,636	0/200	804/851	
2	0,962	0,964	0,986	0,929	0,960	0/200	378/396	
3	0,946	0,929	0,967	0,904	0,937	249/269	378/396	
4	2,169	2,158	2,285	2,010	2,156	518/562	643/670	
5	1,129	1,099	1,131	1,051	1,103	321/337	378/396	
Линия геологического разреза № 59 (западный борт)								
1	1,459	1,444	1,522	1,431	1,464	0/200	821/866	
2	1,871	1,943	1,987	1,738	1,885	0/200	264/282	
3	1,367	1,347	1,446	1,303	1,366	0/200	396/470	
4	1,999	1,928	2,104	1,846	1,969	264/282	396/470	
5	1,638	1,618	1,724	1,595	1,644	396/470	396/470	
6	1,345	1,35	1,394	1,272	1,340	0/200	302/316	
Линия геологического разреза №71 (западный борт)								
1	1,444	1,413	1,51	1,41	1,444	0/200	634/683	
2	1,259	1,274	1,328	1,208	1,267	0/200	348/430	
3	1,779	1,779	1,869	1,66	1,772	0/200	260/285	
4	1,143	1,124	1,175	1,07	1,128	260/360	384/430	

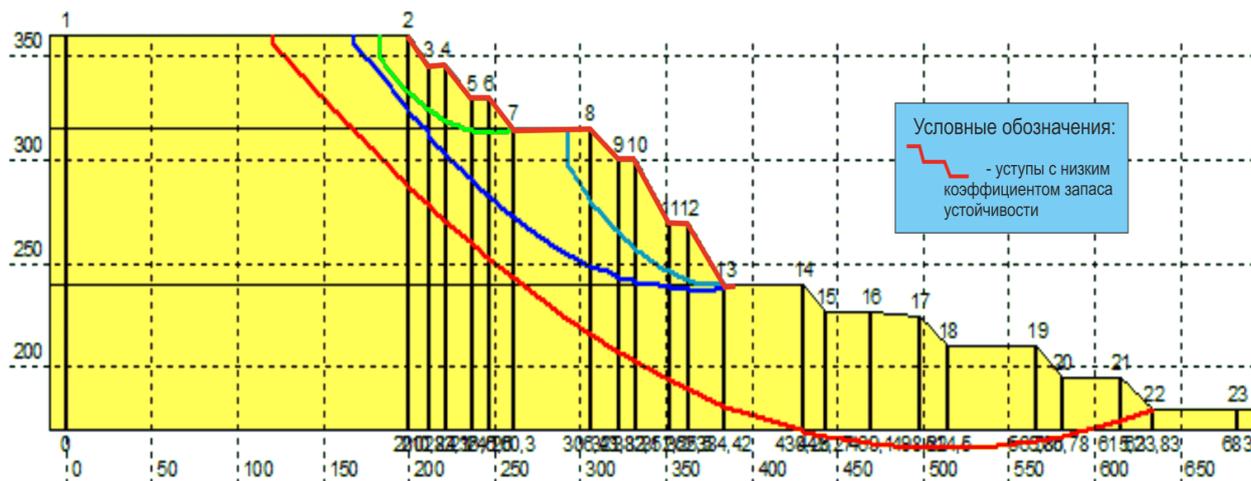


Рис. 3 – Схема наиболее вероятных поверхностей скольжения на линии геологического разреза № 71 (западный борт)

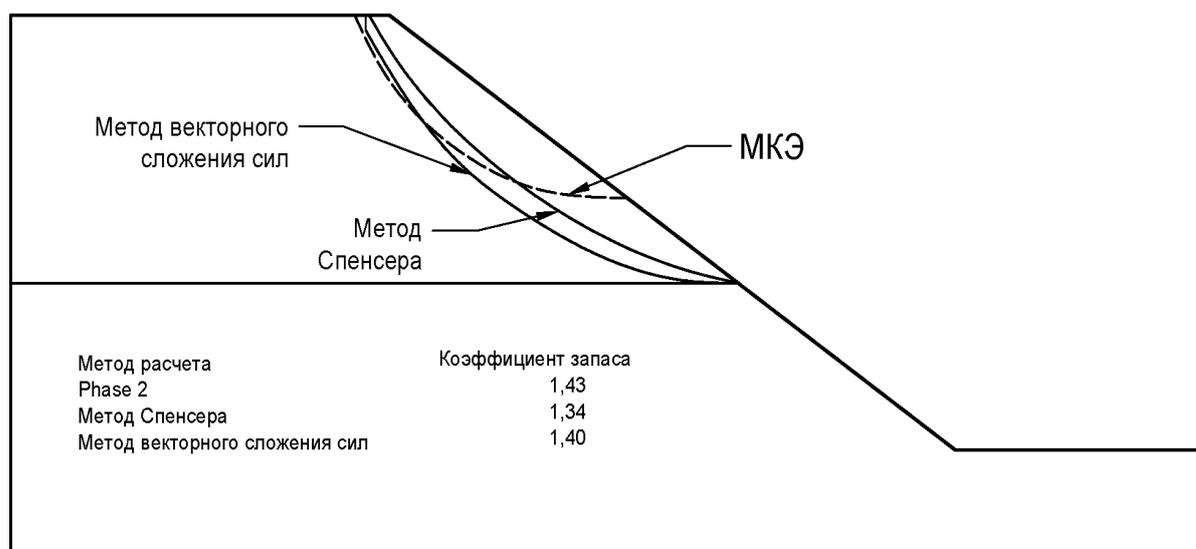


Рис. 4 – Поверхности скольжения в прибортовом массиве, полученные различными методами МКЭ (метод конечных элементов) [11]

На основании требований нормативных документов [16], а также с учетом геомеханических условий отработки Киембаевского карьера, была разработана конструкция наблюдательной станции для мониторинга деформационных процессов. Наблюдательная станция построена по принципу от общего к частному и включает в себя существующий на территории месторождения геодинамический полигон, две традиционные профильные линии, а также две локальных наблюдательных станции (рис. 5). Реперы закладываются как на дневной поверхности, примыкающей к карьере, так и непосредственно в бермы уступов, поставленных на предельный контур. Систематические маркшейдерские наблюдения на разработанной наблюдательной станции позволят получать необходимую информацию о деформациях бортов карьеров, являющуюся основой для прогноза их устойчивости.



Рис. 5 – Схема наблюдательной станции Киембаевского карьера

Выводы

Трещиноватый скальный массив представляет собой сложную иерархически-блочную среду. Учет всех факторов, оказывающих негативное воздействие на устойчивость бортов карьеров, является крайне сложной и зачастую невыполнимой задачей. Классические методы расчета коэффициента запаса устойчивости и компьютерное моделирование не всегда позволяют достоверно оценить устойчивость бортов карьера, особенно в трещиноватых тектонически напряженных скальных массивах. Для обеспечения безопасного ведения горных работ необходимо проводить мониторинг деформаций прибортового массива в процессе разработки месторождения. Наблюдения за состоянием прибортового массива далеко не всегда дают возможность предотвратить обрушения и оползни, но позволяют снизить возможный ущерб от них и особенно риск для людей, находящихся в карьере.

Литература

1. Ericsson M. E&M J's annual survey of global mining investment / M. Ericsson, V. Larsson // Engineering & Mining Journal. - 2013. - Vol. 214. No. 1. - P. 28 - 33.
2. Сашурин А.Д. Механизм формирования аварийных ситуаций различного масштаба вследствие современных геодинамических движений / А.Д. Сашурин, А.А. Панжин // Черная металлургия. - 2017. - № 1 (1405). - С. 21 - 25.
3. Innovative approaches to rock mass stability in mining high-grade quartz veins / A.D. Sashurin, A.A. Panzhin, T.F. Kharisov, D.Yu. Knyazev // Eurasian Mining. - 2016. - № 2 (26). - С. 3 - 5.
4. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1971. – 178 с.

5. Методические указания по расчету устойчивости и несущей способности отвалов. – Л.: ВНИМИ, 1987. – 127 с.
6. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – СПб.: ВНИМИ, 1998. – 208 с.
7. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов / Г.Л. Фисенко. – М.: Недра, 1965. – 378 с.
8. Хуан Я.Х. Устойчивость земляных откосов / Я.Х. Хуан. - М.: Стройиздат, 1988.
9. Федоровский В.Г. Метод расчета устойчивости откосов и склонов / В.Г. Федоровский, С.В. Курилло // Геоэкология. – 1997. - № 6. — С. 95 - 106.
10. Федоровский В.Г. Метод переменной степени мобилизации сопротивления грунту для расчета прочности грунтовых массивов / В.Г. Федоровский, С.В. Курилло // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1998. - № 4/5. - С. 18 - 22.
11. Цирель С.В. Проблемы и пути развития методов геомеханического обоснования параметров бортов карьеров / С.В. Цирель, А.А. Павлович // Горный журнал. - 2017. - № 7. - С. 39 - 45.
12. Кочарян Г.Г. Иерархия структурных и геодинамических характеристик земной коры / Г.Г. Кочарян, А.А. Спивак // Геология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. - 2002. - № 6. - С. 537 - 550.
13. Вариации геофизических полей как проявление детерминированного хаоса во фрактальной среде / А.А. Лукк, А.В. Дещеревский, А.Я. Сидорин, И.А. Сидорин. - М.: ОИФЗ РАН, 1996. - 200 с.
14. Желтышева О.Д. Современные технологии мониторинга устойчивости бортов карьеров / О.Д. Желтышева, Е.Ю. Ефремов // Маркшейдерия и недропользование. - 2014. - № 5 (73). - С. 63 - 66.
15. Панжин А.А. Геодинамический мониторинг на Узельгинском месторождении / А.А. Панжин, А.Д. Сашурин, Н.А. Панжина // Маркшейдерия и недропользование. - 2016. - Т. 1. - № 3 (83). - С. 30 - 35.
16. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1987. – 118 с.