

УДК 621.721

**ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА “КЕНТОБЕ”**

**О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, Ф. К. Низаметдинов, Е. А. Олейникова**

*Казахдинский государственный технический университет,  
E-mail: bog250456@mail.ru, Бульвар Мира, 56, 100027, г. Караганда, Республика Казахстан*

Проведены исследования по оценке устойчивости бортов карьера баритового месторождения “Кентобе”, расположенного на востоке Атасуйского рудного района. Обоснование расчетных прочностных характеристик горных пород месторождения выполнено двумя способами: по методике ВНИМИ и с использованием компьютерной программы RocLab. Оценка устойчивости осуществлена с помощью компьютерной программы, разработанной специалистами КарГТУ. Для проведения расчетов на плане горных работ выделены направления, характеризующие неоднородностью прибортового массива, глубиной разработки, наличием поверхностей ослабления. Расчеты показали, что заданные параметры углов откосов уступов, брем безопасности и угла откоса борта карьера не обеспечивают их устойчивое положение. Для сохранения устойчивости необходимо выполаживание генерального угла юго-западного борта до 34° и северо-восточного борта до 31°, при этом коэффициенты запаса будут равны соответственно 1.24 и 1.21.

*Геомеханическая модель, коэффициент запаса устойчивости, прочностные характеристики горных пород, расчеты устойчивости бортов карьера, обеспечение устойчивости бортов*

DOI: 10.15372/FTPRPI20180612

Эффективность и полнота отработки месторождений во многом зависит от того, насколько предельные параметры бортов карьеров и отвалов соответствуют климатическим, геологическим, гидрогеологическим, технологическим и безопасным условиям эксплуатации. Практика показывает, что неучет любого из этих условий приводит к нарушению устойчивого состояния откосов и развитию деформаций на всех этапах строительства и эксплуатации карьеров, последствия от которых приносят значительный материальный ущерб [1].

Все элементы геомеханической модели, представляющей собой борт карьера или откос уступа, находятся в тесной взаимосвязи друг с другом. С точки зрения системного подхода каждая подсистема (структурная модель, механическая модель и физико-механические свойства пород) должна быть рассмотрена с детальностью, обеспечивающей надежную оценку поведения всей системы геомеханической модели массива, в которую она входит как составной элемент.

Ряд количественных и качественных признаков породного массива позволяет охарактеризовать месторождение для оценки устойчивости откосов уступов и бортов карьеров. К числу основных признаков следует отнести изменчивость показателей пространственного размещения

структурных элементов, различных генетических типов горных пород, их физических и механических свойств [2]. Решающее значение при оценке устойчивости приобретает обоснование расчетных прочностных характеристик горных пород месторождения.

По значениям пределов прочности горных пород баритового месторождения “Кентобе” на одноосное сжатие и растяжение, найденным по результатам лабораторных испытаний, построены паспорта прочности пород по классической схеме, которые отражают прочностные характеристики основных типов горных пород в образце [3]. Для использования их в расчетах по оценке устойчивости откосов уступов и бортов карьера необходимо иметь значения прочностных характеристик в массиве с учетом влияния трещиноватости, размеров структурных блоков, влажности горных пород и других факторов [4].

Для условий рассматриваемого месторождения, на основании данных о классификации скальных пород по степени трещиноватости и содержанию крупных кусков, о величине средних размеров структурных блоков  $l$ , отдельных разностей в массиве, определены значения коэффициента структурного ослабления  $\lambda_0$  основных типов горных пород, слагающих прибортовой массив.

ТАБЛИЦА 1. Расчетные значения сцепления и угла внутреннего трения основных типов пород месторождения “Кентобе”

Порода	Сцепление в образце $k_{обр}$ , кПа	Коэффициент $\lambda_0$	Сцепление в массиве $k$ , кПа	Сцепление расчетное $k_{расч}$ , кПа при $n_3 = 1.3$	Угол внутреннего трения $\rho_{расч}$ , град
Песчаники трещиноватые выветрелые	8000	0.057	456	350	33
Известняки темно-серые до розовато-серых, иногда слоистые	8700	0.044	383	294	31
Переслаивание песчаника с алевролитами и углисто-кремнистыми аргиллитами	12100	0.039	472	363	25
Песчаники баритизированные и окварцованные	16100	0.040	644	495	30

Коэффициент запаса  $n_3$  должен учитывать погрешности определения прочностных характеристик горных пород в массиве и по трещинам, элементов залегания неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления, составляющих призмы возможного обрушения [5]. Кроме того,  $n_3$  может учитывать погрешности методов расчетов, которые, составляют 3–5%, влияние динамических нагрузок при массовых взрывах, снижение прочности пород с течением времени под влиянием выветривания и набухания [6, 7].

Для определения расчетных прочностных свойств горных пород в массиве карьера использован программный комплекс RocLab [8, 9], обеспечивающий реализацию критерия разрушения Хоека–Брауна. Данный критерий позволяет получать надежные оценки свойств массива горных пород и в интерактивном режиме отслеживать характер их изменения, огибающих разрушения (кривых прочности) при изменении параметров [10, 11] (рис. 1).

На основании выполненных построений огибающих разрушения основных типов горных пород, слагающих прибортовые массивы, определены расчетные прочностные характеристики (сцепления и угла внутреннего трения), которые приведены в табл. 2.



Рис. 1. Кривые огибающих разрушения известняков темно-серых до розовато-серых, иногда слоистых

ТАБЛИЦА 2. Прочностные характеристики горных пород массива баритового карьера, определенные с использованием программного комплекса RocLab

Порода	Предел прочности на растяжение МПа	$\sigma_{сж}$ , МПа	Прочность на сжатие, МПа	Геологический индекс прочности GSI	Сцепление $k_{расч}$ , кПа	Угол внутреннего трения $\rho_{расч}$ , град
Песчаники трещиноватые выветрелые	-0.006	45	0.168	30	334	22
Известняки темно-серые до розовато-серых, иногда слоистые	-0.005	50	0.113	30	277	18
Переслаивание песчаника с алевролитами и углисто-кремнистыми аргиллитами	-0.007	50	0.187	35	349	22
Песчаники баритизированные и окварцованные	-0.008	80	0.299	35	472	28
Аральские глины	-0.005	2	0.033	25	79	8.43

Для оценки принятых расчетных значений прочностных характеристик горных пород выполнено сравнение результатов двумя способами: по методике ВНИМИ и с использованием компьютерной программы RocLab (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. Значения расчетных прочностных характеристик горных пород

Порода	Программа RocLab		Метод ВНИМИ		
	Сцепление, $k_{расч}$ , кПа	Угол внутреннего трения $\rho_{расч}$ , град	Коэффициент структурного ослабления $\lambda_0$	Сцепление расчетное $k_{расч}$ , кПа при $n_3 = 1.3$	Угол внутреннего трения $\rho_{расч}$ , град
Песчаники трещиноватые выветрелые	334	22	0.057	350	24
Известняки темно-серые до розовато-серых, иногда слоистые	277	18	0.044	294	20
Переслаивание песчаника с алевролитами и углисто-кремнистыми аргиллитами	349	22	0.039	363	21
Песчаники баритизированные и окварцованные	472	28	0.040	495	30

Анализ проведенных исследований показал хорошую сходимость результатов определения значений прочностных характеристик горных пород, которая лежит в пределах 3–5 %.

Оценка устойчивости бортов карьера по баритовому месторождению выполнена с использованием компьютерной программы “Устойчивость карьерных откосов”, [11]. Программа просчитывает от 100 до 1000 поверхностей возможного обрушения и осуществляет выбор наиболее опасной с минимальным коэффициентом запаса устойчивости откосов [12]. Для детализации и уточнения параметров обрушения в программе предусмотрена пошаговая выборка ширины бермы и определение поверхности возможного обрушения с минимальным коэффициентом запаса устойчивости откосов [13, 14]. На рис. 2 представлено окно программы, которая учитывает неоднородность прибортового массива, наличие поверхностей ослабления, глубину разработки, проектные значения углов наклона уступов и ширину берм, общий угол наклона всего борта карьера.

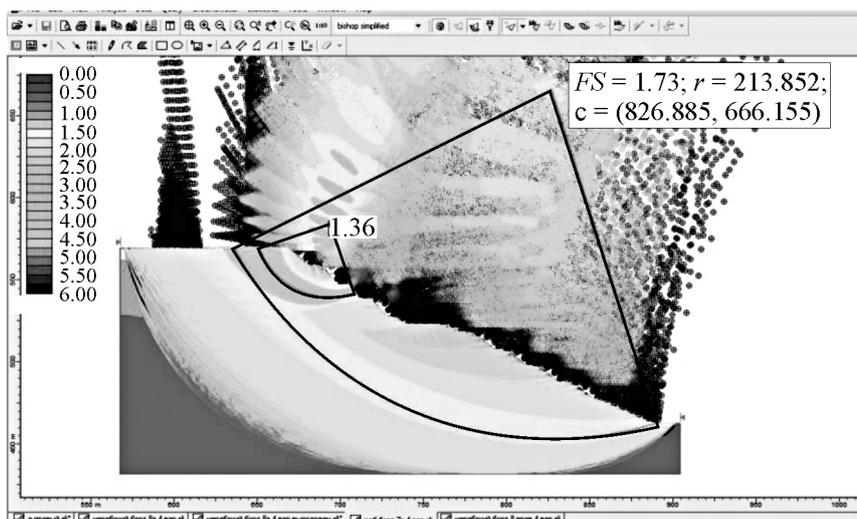


Рис. 2. Окно расчетной программы “Устойчивость карьерных откосов” по определению коэффициента устойчивости

При проведении расчетов устойчивости бортов карьера на плане горных работ (рис. 3) выделены наиболее ответственные направления (разрезы А–А и VIIIa–VIIIa), проходящее по максимальной глубине разработки карьера [15], и разрезы, перпендикулярные к линии простирания откосов уступов (VIa–VIa, VIIa–VIIa, VIII–VIII).

Оценка устойчивости бортов карьера выполнена на основании расчетных значений физико-механических свойств горных пород по выделенным геологическим разрезам, а также по линиям А–А по простиранию и Б–Б вкрест простирания рудного тела (рис. 3). Результаты оценки по разрезам представлены на расчетных схемах (рис. 4) и в табл. 4. Расчеты устойчивости по разрезам, а также по линии А–А показали, что заданные параметры углов откосов уступов, берм безопасности и угла откоса борта карьера при постановке их на проектный контур не обеспечивают устойчивое положение [16]. При постановке северо-западного и юго-восточного бортов на проектные контуры коэффициенты запаса устойчивости при максимальной глубине разработки карьера колеблются от 0.77 до 1.07, т. е. борт карьера будет находиться в неустойчивом состоянии [17].

Для обеспечения устойчивости бортов карьера необходимо предусмотреть выполаживание:

а) по геологическому разрезу VIIIa–VIIIa генерального угла юго-западного борта до  $34^\circ$  и северо-восточного борта до  $31^\circ$ . Рекомендуемые профили устойчивых бортов карьера, коэффициенты запаса по которым соответственно равны  $n_y = 1.24$  и  $1.21$ , приведены на рис. 4;

б) генерального угла наклона бортов при максимальной глубине разработки:

- юго-восточный нерабочий борт (разрез VIII – VIII, глубина 132.8 м): для верхних глинистых пород до 21°, для нижних скальных пород — до 40°;
- северо-западный рабочий борт (разрез VIIIa – VIIIa, глубина 161.2 м) — до 34°;
- юго-восточный нерабочий борт (разрез VIIIa – VIIIa, глубина 160.9 м) — до 31°;
- восточный борт (разрез А – А, глубина 160.0) — до 33°.

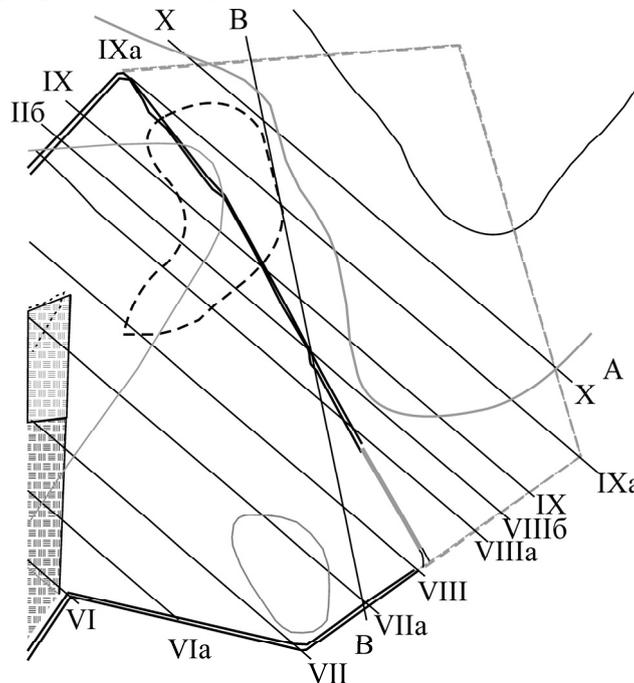


Рис. 3. План горных работ карьера барита с расчетными профилями

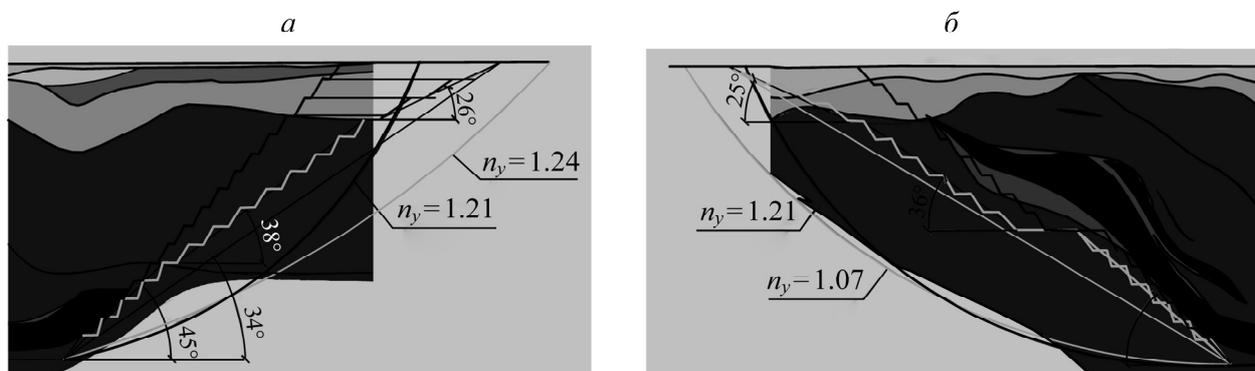


Рис. 4. Рекомендуемый профиль юго-западного (а) и северо-восточного (б) борта карьеров по линии VIIIa – VIIIa

В процессе отработки карьера следует детально изучить физико-механические свойства горных пород, слагающих прибортовой массив. Для оценки устойчивости откосов уступов и бортов необходимо проводить съемку трещиноватости, линейных элементов структурных блоков, протяженность и взаимную направленность трещин, состояние их поверхностей, вид заполнителя и ориентирование поверхностей ослабления относительно простирания откосов уступов и бортов карьера.

ТАБЛИЦА 4. Результаты расчетов по оценке устойчивости бортов баритового карьера

Геологический разрез, борт	Глубина разработки, м	Угол наклона борта карьера, град	Коэффициент запаса устойчивости КЗУ
VIa – VIa Северо-западный	64.3	28	Верхних уступов — 1.25 Нижних уступов — 2.19
Юго-восточный	57.1	20	Верхних уступов — 2.08 Всего борта — 3.41
VIIa – VIIa Юго-восточный	103.8	—	Всего борта — 1.2
VIII – VIII Северо-западный	135.4	36	Всего борта — 1.21
Юго-восточный	132.8	41	Верхних уступов — 0.77; Всего борта — 1.23
VIIIa – VIIIa Северо-западный	161.2	39	Верхних уступов — 1.41; Нижних уступов — 1.42 Всего борта — 1.07
Юго-восточный	160.9	47	Всего борта — 1.01 (без учета тектонического нарушения)
Юго-восточный	160.9	47	Всего борта — 0.97 (с учетом тектонического нарушения)
Юго-восточный	160.9	47	Всего борта — 0.77 (поверхность скольжения построена по контакту тектонического нарушения)
По линии А – А Восточный	160.0	46	Всего борта — 1.0
По линии Б – Б Южный	160.9	39	Всего борта — 1.47
Северный	160.9	41	Верхних уступов — 1.67; Нижних уступов — 1.68; Всего борта — 1.24

## ВЫВОДЫ

Решающее значение при оценке устойчивости приобретает обоснование расчетных прочностных характеристик горных пород месторождения. По значениям пределов прочности горных пород баритового месторождения “Кентобе” на одноосное сжатие и растяжение с учетом влияния трещиноватости, размеров структурных блоков, влажности горных пород и других факторов определены расчетные значения прочностных характеристик горных пород в массиве.

Оценка устойчивости бортов карьера выполнена с использованием компьютерной расчетной программы “Устойчивость карьерных откосов”, которая учитывает неоднородность при-бортового массива, прочностные характеристики горных пород, наличие поверхностей ослабления, глубину разработки, проектные значения углов наклона уступов и ширину берм, общий угол наклона всего борта карьера и другие параметры.

Расчеты устойчивости по выделенным разрезам показали, что при постановке северо-западного и юго-восточного бортов на проектные контуры коэффициенты запаса устойчивости при максимальной глубине разработки карьера колеблются от 0.77 до 1.07, т. е. борт карьера будет находиться в неустойчивом состоянии. Для обеспечения устойчивости бортов карьера “Кентобе” рекомендуется предусмотреть выколачивание генерального угла соответственно юго-западного борта до 34° и северо-восточного борта до 31°.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Методические указания** по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. — Л.: ВНИМИ, 1972. — 165 с.
2. **Временные методические указания** по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии. — М.: Гипроруда, 1989. — 128 с.
3. **Методические указания** по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Согласованы приказом Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан от 22 сентября 2008. — № 39.
4. **Фисенко Г. Л.** Устойчивость бортов карьеров и отвалов. — М.: Недра, 1965. — 378 с.
5. **Баклашов И. В.** Деформирование и разрушение породных массивов. — М.: Недра, 1988. — 271 с.
6. **Попов И. И., Окатов Р. П., Низаметдинов Ф. К.** Механика скальных массивов и устойчивость карьерных откосов. — Алма-Ата, 1986. — 256 с.
7. **Чанышев А. И.** Построение паспортных зависимостей горных пород в допредельной и запредельной областях деформирования // ФТПРПИ. — 2002. — № 5. — С. 26–31
8. **Hoek E and Diederichs M. S.** Empirical estimation of rock mass modulus, Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci., 2006, Vol. 43. — P. 203–215.
9. **Hoek E., Carranza-Torres C., and Corkum B.** Hoek-Brown failure criterion, Proc. NARMS, 2002, Vol. 1. — С. 267–273.
10. **Hoek E.** Practical rock engineering — an ongoing set of notes, Available at: <https://www.rocksolid.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Full-Text.pdf>
11. **Долгонос В. Н., Шпаков П. С., Низаметдинов Ф. К., Ожигин С. Г., Ожигина С. Б., Старостина О. В.** Аналитические способы расчета устойчивости карьерных откосов. — Караганда: Соната–Полиграфия, 2009. — 339 с.
12. **Свидетельство** о государственной регистрации прав на объект авторского права № 126 от 26 января 2015 г. “Устойчивость карьерных откосов” (программа для ЭВМ) / С. Г. Ожигин, С. Б. Ожигина, П. С. Шпаков, Ф. К. Низаметдинов и др.
13. **Галустьян Э. Л.** Геомеханика открытых горных работ. — М.: Недра, 1992. — 272 с.
14. **Демин А. М.** Устойчивость открытых горных выработок и отвалов. — М.: Недра, 1973. — 232 с.
15. **Попов И. И., Окатов Р. П.** Борьба с оползнями на карьерах. — М.: Недра, 1980. — 239 с.
16. **Курленя М. В., Барышников В. Д., Гахова Л. Н.** Развитие экспериментально-аналитического метода оценки устойчивости горных выработок // ФТПРПИ. — 2012. — № 4. — С. 20–28.
17. **Багдасарьян А. Г., Сытенков В. Н.** К вопросу об изменении устойчивости бортов с увеличением глубины карьера // ФТПРПИ. — 2014. — № 1. — С. 75–80.

*Поступила в редакцию 24/IV 2018*

*После доработки 29/V 2018*

*Принята к публикации 28/XI 2018*