

УДК 622.271

**В.В. Рыбин, Н.О. Губинский**

## **К ОЦЕНКЕ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТА КАРЬЕРА В СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ**

*Произведен расчет устойчивости участка массива скальных пород, ограниченного со стороны карьера выработанным пространством, со стороны породного массива и с боков — выделенными структурными неоднородностями.*

*Ключевые слова: геомеханика, массив скальных пород, борт карьера, структурные блоки, "опасный диапазон".*

---

**О**дной из наиболее острых проблем, возникающих при ведении горных работ открытым способом, является оценка степени риска потери устойчивости бортом карьера. Традиционно в геомеханике оценка степени риска потери устойчивости бортом карьера производится с помощью определения его коэффициента запаса устойчивости. Точное определение значений коэффициента запаса устойчивости наиболее актуально при формировании бортов карьеров со значительными углами откосов, что в последнее время происходит повсеместно в особенности в массивах прочных скальных пород.

Как показывает практика, риск потери устойчивости бортом карьера меньше, чем риск потери устойчивости уступом или группой уступов, но последствия и ущерб гораздо масштабнее и больше, вплоть до остановки горно-добывающего предприятия, что ведёт к ощутимым негативным экономическим последствиям. В то же время существует возможность увеличения генеральных углов откосов бортов карьеров в массивах скальных пород до 60° при отсутствии в массиве неблагоприятно ори-

ентированных поверхностей ослабления [1].

Основной тенденцией развития мировой горнодобывающей промышленности является усложнение горно-геологических условий месторождений полезных ископаемых, переход от разработки месторождений, залегающих на малых глубинах в пределах осадочной толщи, к разработке глубокозалегающих месторождений (участков месторождений) в массивах высокопрочных скальных пород.

Практика ведения горных работ в скальных массивах показывает, что их устойчивость сохраняется даже при значительных углах откосов. Так, формирование зоны обрушения при подземной отработке Хибинских апатитовых месторождений в скальных породах при благоприятных условиях может происходить даже с отрицательным углом откоса при высоте откоса до 200 м (Расвумчоррский рудник ОАО «Апатит»). Сформированный таким образом откос может сохранять устойчивость до десяти лет и более.

В зарубежной практике ведения открытых горных работ в высокопрочных скальных массивах уже достаточно давно используются крутые

откосы бортов карьеров. Можно привести примеры: карьер Flintkote Mine (Канада), борт которого отстроен в гранитах под углом  $70^\circ$ ; железорудный карьер Cleveland Cliffs (США), борт которого при высоте 120 м отстроен под углом  $80^\circ$ ; карьер Westfrob Mine (Канада), глубиной 244 м с общим углом наклона борта  $55^\circ$  [2]. Характерен пример карьера Айтик (Швеция), на котором, несмотря на достаточно сложные горно-геологические условия (трещиноватый и обводненный массив), отстраиваются вертикальные откосы уступов, а угол откоса борта достигает  $51^\circ$ . Такой эффект достигается за счет применения специальных схем контурного взрывания, предусматривающих максимальное сохранение приконтурного массива. В отечественной практике ведения открытых горных работ также есть случаи строительства достаточно крутых откосов бортов карьеров. Так, на карьере «Айхал» (Якутия) углы откосов бортов в глубокой части карьера составляют  $70^\circ$  —  $80^\circ$ .

Подход к геомеханическому обоснованию параметров бортов карьеров.

При оценке устойчивости бортов карьеров следует различать понятия «устойчивость борта карьера в целом» и «устойчивость отдельного уступа». Устойчивость борта карьера — способность борта карьера сохранять свою конструкцию без сдвига по крупным естественным или новым сформированным поверхностям ослабления в массиве с образованием нового более пологого угла откоса борта. Устойчивость отдельного уступа — способность отдельного уступа сохранять свою конструкцию без реализации вывалов породных блоков по поверхностям ослаблений, осыпей и других

явлений, характерных для поверхностных нарушенных зон.

Как следует из этих определений, даже полное разрушение уступа или группы уступов, но без формирования нового более пологого угла откоса борта в целом — не является потерей устойчивости борта. Интегральным показателем степени потенциальной устойчивости уступа является мощность нарушенной зоны ( $H_{нар}$ ). Чем меньше  $H_{нар}$ , тем меньшая часть приконтурного массива пород найдется в дискретном, разделенном на блоки состоянии вне области влияния сжимающих напряжений. Соответственно, чем меньше  $H_{нар}$ , тем меньше вероятность реализации вывалов структурных блоков, в результате чего может быть нарушен технологический режим и снижен уровень безопасности горных работ.

На устойчивость борта карьера в целом влияют крупные структурные нарушения, которые единичны в пределах отдельного месторождения. Следовательно, их учет при расчете устойчивости борта карьера в целом должен быть индивидуальным.

Используя имеющиеся данные о физических свойствах массива пород, его напряженном состоянии и структурной нарушенности, применим разработанный в Горном институте КНЦ РАН подход к геомеханическому обоснованию параметров бортов карьеров в массивах скальных тектонически напряженных пород [3—5].

В соответствии с разработанным подходом производится расчет устойчивости участка массива скальных пород, ограниченного со стороны карьера выработанным пространством, со стороны породного массива и с боков — выделенными структурными неоднородностями.

При этом принимаются следующие упрощения:

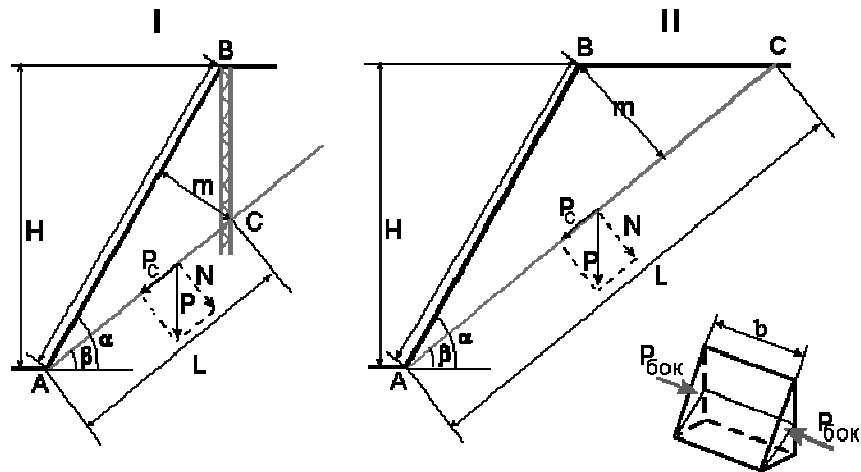


Рис. 1. Схемы расчёта устойчивости борта карьера

Подсекающая поверхность ослабления пересекает линию откоса борта в ее сопряжении с дном карьера, а вертикальная поверхность ослабления пересекает дневную поверхность в точке сопряжения первоначального рельефа земной поверхности и карьерного пространства.

Боковые поверхности ослабления, ограничивающие выделяемый расчетный блок, принимаются взаимно параллельными друг другу и перпендикулярными борту карьера.

Принятые упрощения сводят все многообразие возможных ситуаций к наиболее неблагоприятному случаю относительного залегания структурных нарушений и откоса борта карьера.

Потеря устойчивости борта карьера происходит при превышении сдвигающими силами удерживающих сил:

$$P_c > F_{тр}^{под} + F_{сцепл}^{под} + F_{сцепл}^{бок} + F_{тр}^{бок}$$

где  $P_c$  — сдвигающая составляющая веса породного блока, т;  $F_{тр}^{под}$  — сила трения по подсекающей поверхности скольжения, т;  $F_{сцепл}^{под}$  — сила сопротивления сдвигу по подсекающей по-

верхности скольжения, т;  $F_{сцепл}^{бок}$  — сила сопротивления сдвигу по боковым граням структурного блока, т;  $F_{тр}^{бок}$  — сила трения по боковым граням структурного блока, т.

Соответственно, коэффициент запаса устойчивости определяется:

$$n = \frac{F_{тр}^{под} + F_{сцепл}^{под} + F_{сцепл}^{бок} + F_{тр}^{бок}}{P_c}$$

Если  $n \geq 1.3$ , борт карьера считается устойчивым [6]. Если  $1.0 \leq n < 1.3$ , борт карьера считается недостаточно устойчивым. Если  $n < 1.0$ , борт карьера считается неустойчивым.

Для представленных на рис. 1 расчетных схем:

$$P_c = S_{ABC} \cdot b \cdot \gamma \cdot \cos(90^\circ - \beta)$$

$$F_{тр}^{под} = N \cdot \operatorname{tg}\varphi' = S_{ABC} \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin(90^\circ - \beta) \cdot \operatorname{tg}\varphi'$$

$$F_{сцепл}^{под} = b \cdot L \cdot C'$$

$$F_{сцепл}^{бок} = 2 \cdot C' \cdot S_{ABC}$$

$$F_{тр}^{бок} = 2 \cdot P_{бок} \cdot S_{ABC} \cdot \operatorname{tg}\varphi'$$

На примере карьера месторождения Вуручайвенч на Кольском полу-

острове определим коэффициент запаса устойчивости его борта.

Руды (плагноклазиты) и вмещающие породы (габбронориты) месторождения Вуручуайвенч относятся к категории прочных, скальных пород, и в соответствии с классификацией горных пород по их устойчивости в бортах карьеров основными их расчетными характеристиками являются параметры структурных нарушений (азимут простирания, угол падения, сцепление и угол внутреннего трения по контакту) [6].

Данные о геолого-структурном строении месторождения Вуручуайвенч свидетельствуют о том, что горные породы исследуемого месторождения являются слаботрещиноватыми, имеющие место в пределах породного массива поверхности ослабления не окажут существенного влияния на устойчивость бортов и уступов карьера в конечном положении.

В таких условиях в соответствии с «Методическими указаниями по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров» [7] рекомендуется принимать угол наклона борта карьера в целом на конечном контуре  $60^\circ$ , угол наклона скального уступа —  $75^\circ$ . Принимая в качестве высоты рабочего уступа 15 м, при сдваивании рабочих уступов на конечном контуре получим высоту уступа в предельном положении — 30 м, ширина бермы безопасности составит 10 м.

Был проведен расчет коэффициентов запаса устойчивости ( $n$ ) в зависимости от значений угла падения структурных нарушений  $\beta$ .

Все расчеты произведены для условия высоты борта карьера в скальных вмещающих породах (габброноритах)  $H=100$  м.

Параметр  $b$  характеризует ширину выделяемого расчетного блока. Для месторождения Вуручуайвенч ширина расчетного блока определяется как расстояние в плане между дайками диабазов. Исходя из геологического строения месторождения Вуручуайвенч можно сделать вывод, что среднее значение ширины расчетного блока ( $b$ ) составляет ориентировочно 50 м.

Для I и II расчетных схем рассматривались следующие варианты граничных условий:  $R_{\text{бок}} = 0; 50; 500 \text{ т/м}^2$  и  $C' = 0; 30; 70 \text{ т/м}^2$ . Результаты расчета представлены в табл. 1, 2.

Тёмным цветом в табл. 1, 2 выделены рассмотренные случаи, в которых борт карьера неустойчив ( $n < 1.0$ ). Серым цветом выделены случаи, в которых борт карьера недостаточно устойчив ( $1.0 \leq n < 1.3$ ). Светло-серым цветом выделены случаи, в которых борт карьера устойчив ( $n \geq 1.3$ ).

Из результатов расчетов, представленных в табл. 1, 2, видно, что в случае, если предположить наличие в массиве пород протяженных, раскрытых трещин с гладкими границами ( $C' = 0$ ), то при  $R_{\text{бок}} = 0$  и для I и для II расчетных схем борт карьера будет недостаточно устойчив, начиная с угла наклона структурных нарушений ориентировочно  $\beta \geq 20^\circ$ . Этот случай ( $C' = 0; R_{\text{бок}} = 0$ ) соответствует несвязному массиву скальных пород, фактически раздробленной горной массе.

Если ввести в расчет связность структурных блоков ( $C' = 30 \text{ т/м}^2$ ), то при  $R_{\text{бок}} = 0$  диапазон значений  $\beta$  при которых  $n < 1.3$  для I и II расчетных схем не существует, т.е. борт карьера устойчив во всех случаях.

Таблица 1

**Расчёт коэффициентов запаса устойчивости при различных условиях для I расчётной схемы ( $\alpha = 60^\circ$ ;  $H=100$  м;  $b=50$  м;  $\varphi' = 24^\circ$ )**

		$P_{бок} = 0 \text{ т/м}^2$			$P_{бок} = 50 \text{ т/м}^2$			$P_{бок} = 500 \text{ т/м}^2$		
		С`			С`			С`		
		0 т/м <sup>2</sup>	30 т/м <sup>2</sup>	70 т/м <sup>2</sup>	0 т/м <sup>2</sup>	30 т/м <sup>2</sup>	70 т/м <sup>2</sup>	0 т/м <sup>2</sup>	30 т/м <sup>2</sup>	70 т/м <sup>2</sup>
Угол падения структурного нарушения (β), градус	1	25,51	49,19	80,77	42,92	66,60	98,18	199,6	223,32	254,90
	5	5,09	10,01	16,56	8,58	13,49	20,05	39,96	44,87	51,43
	10	2,52	5,12	8,57	4,27	6,87	10,32	20,03	22,62	26,07
	15	1,66	3,50	5,94	2,84	4,67	7,12	13,40	15,24	17,68
	20	1,22	2,70	4,66	2,11	3,59	5,55	10,11	11,58	13,55
	25	0,95	2,23	3,94	1,67	2,95	4,66	8,15	9,42	11,13
	30	0,77	1,95	3,51	1,38	2,55	4,12	6,85	8,02	9,59
	35	0,64	1,77	3,28	1,17	2,30	3,81	5,93	7,07	8,58
	40	0,53	1,69	3,23	1,00	2,16	3,70	5,26	6,41	7,96
	45	0,45	1,71	3,40	0,88	2,14	3,83	4,74	6,01	7,69
	50	0,37	1,93	4,01	0,77	2,33	4,40	4,34	5,90	7,97
	55	0,31	2,85	6,23	0,68	3,22	6,60	4,02	6,56	9,94
	59	0,27	10,91	25,10	0,62	11,26	25,45	3,81	14,45	28,64

Таблица 2

**Расчёт коэффициентов запаса устойчивости при различных условиях для II расчётной схемы ( $\alpha = 60^\circ$ ;  $H=100$  м;  $b=50$  м;  $\varphi' = 24^\circ$ )**

		$P_{бок} = 0 \text{ т/м}^2$			$P_{бок} = 50 \text{ т/м}^2$			$P_{бок} = 500 \text{ т/м}^2$		
		С`			С`			С`		
		0 т/м <sup>2</sup>	30 т/м <sup>2</sup>	70 т/м <sup>2</sup>	0 т/м <sup>2</sup>	30 т/м <sup>2</sup>	70 т/м <sup>2</sup>	0 т/м <sup>2</sup>	30 т/м <sup>2</sup>	70 т/м <sup>2</sup>
Угол падения структурного нарушения (β), градус	1	25,51	60,85	107,97	42,92	78,26	125,38	199,6 3	234,97	282,09
	5	5,09	12,28	21,86	8,58	15,76	25,34	39,96	47,14	56,73
	10	2,52	6,22	11,14	4,27	7,97	12,89	20,03	23,72	28,64
	15	1,66	4,21	7,62	2,84	5,39	8,79	13,40	15,96	19,36
	20	1,22	3,23	5,90	2,11	4,12	6,79	10,11	12,11	14,79
	25	0,95	2,66	4,93	1,67	3,38	5,64	8,15	9,85	12,12
	30	0,77	2,30	4,34	1,38	2,91	4,95	6,85	8,38	10,42
	35	0,64	2,08	4,01	1,17	2,61	4,54	5,93	7,38	9,31
	40	0,53	1,98	3,90	1,00	2,45	4,37	5,26	6,70	8,63
	45	0,45	1,99	4,06	0,88	2,42	4,49	4,74	6,29	8,36
	50	0,37	2,24	4,73	0,77	2,64	5,13	4,34	6,21	8,70
	55	0,31	3,30	7,28	0,68	3,67	7,65	4,02	7,01	10,99
	59	0,27	12,61	29,06	0,62	12,96	29,41	3,81	16,15	32,60

В случае действия в массиве пород горизонтальных напряжений, абсолютным значением, соответствующим боковому отпору от веса вышележащих пород на глубине 50 м, т.е.  $1/2$  проектной глубины карьера ( $P_{бок} = 50 \text{ т/м}^2$ ), то в этом случае при наличии в массиве пород протяженных, раскрытых трещин с гладкими границами ( $C' = 0$ ) и для I и для II расчетных схем  $n < 1.3$  при ориентировочном значении  $\beta \geq 35^\circ$ . В случае наличия связности структурных блоков и действия бокового отпора от веса вышележащих пород ( $C' = 30 \text{ т/м}^2$ ;  $P_{бок} = 50 \text{ т/м}^2$ ) «опасных диапазонов» значений  $\beta$  не существует, т.е. борт карьера должен быть устойчив.

В случаях, когда действующие в массиве пород горизонтальные напряжения соответствуют гравитационно-тектоническому типу напряженного состояния ( $P_{бок} = 500 \text{ т/м}^2$ ), устойчивость борта карьера обеспечивается за счет сжатия структурных блоков даже при отсутствии связности между ними, т.е. при  $C' = 0$ .

Таким образом, в самом неблагоприятном случае, соответствующем несвязному массиву скальных пород, фактически раздробленной горной массе ( $C' = 0$ ;  $P_{бок} = 0$ ) опасными по условию сдвига структурных блоков

будут являться протяженные трещины с углами падения  $\beta \geq 20^\circ$ . При наличии связности структурных блоков и/или действия в массиве пород горизонтальных напряжений «опасный диапазон» значений  $\beta$  значительно сужается, системы трещин отсутствуют.

В результате определения коэффициента запаса устойчивости борта карьера рекомендованы следующие параметры ведения горных работ открытым способом: угол откоса нерабочего борта в конечном положении —  $60^\circ$ ; угол откоса уступа —  $75^\circ$ , при его высоте равной 30 м и ширине бермы безопасности — 10 м. Применение рекомендованных параметров открытых горных работ возможно, во-первых, при «шадающей» технологии буровзрывных работ при постановке борта карьера на конечный контур, во-вторых, необходима разработка системы мониторинга деформационных процессов в прибортном массиве.

В случае выполнения перечисленных условий риск потери устойчивости бортом карьера сводится к минимуму, а экономическая эффективность при эксплуатации месторождения возрастает.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-05-13579).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников Н.Н. Аспекты устойчивости горнопромышленного комплекса страны / Развитие новых научных направлений и технологий освоения недр Земли: Материалы юбилейной сессии Отделения геологии, геофизики, геохимии и горных наук РАН (24-26 ноября 1999г., г.Москва). — М.: ННЦ ГПИ-ИГД им. Скочинского, 2000. — 23—47.

2. Brawner C.O. Recent lessons that have been learned in open — pit mine stability // Mining Engineering, Vol. 38, №8, 1986, p. 823—830)

3. Обеспечение устойчивости бортов карьеров в предельном положении / А.А. Козырев, С.П. Решетняк, Э.В. Каспарьян, В.В. Рыбин, Н.А. Свердленко // Безопас-

ность труда в промышленности, № 10, 2003. — С.41—44.

4. *Концепция* формирования нерабочих бортов глубоких карьеров Кольского Заполярья / Н.Н. Мельников, А.А. Козырев, С.П. Решетняк, Э.В. Каспарьян, В.В. Рыбин, В.С. Свинин, А.Н. Рыжков // Горный журнал, 2004, № 9, С. 45—0.

5. *Козырев А.А., Каспарьян Э.В., Рыбин В.В.* О новых подходах к оценке устойчивости бортов карьеров в скальных породах // Труды международной конференции: «Геодинамика и напряжённое состояние недр Земли» — Новосибирск: изд-во: Ин-

ститут горного дела СО РАН, 2004, С. 231—237.

6. *Галустьян Э.Л.* Геомеханика открытых горных работ: Справочное пособие — М.: Недра, 1992. — 272 с.

7. *Методические* указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров / ВНИМИ; Составители: Г.Л. Фисенко, В.Т. Сапожников, А.М. Мочалов, В.И. Пушкарев, Ю.С. Козлов. — Ленинград: Издательство ВНИМИ, 1972. — 165 с. **ГИАБ**

#### Коротко об авторах

*Рыбин В.В.* — кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Геомеханика» Горного института КНЦ РАН;  
*Губинский Н.О.* — младший научный сотрудник лаборатории «Геомеханика» Горного института КНЦ РАН, root@goi.kolasc.net.ru



#### РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

**Лимитовский А.М., Касьянов В.А., Скачков П.А.** Московский государственный геологоразведочный университет, e-mail: office@msgpa.edu.ru

Об электроснабжении геологоразведочных объектов от региональных электрических сетей в современных условиях (786/02-11 от 02.11.2010 3 с.)

*Рассмотрены особенности стратегической направленности электроснабжения объектов подключаемых к региональным сетям в современных условиях посредством установления местных цен за подключение нагрузки. Анализируются уровни этих цен по отдельным регионам в соответствии с параметрами систем электроснабжения, таких как: категория потребителя, напряжение, и др.*

*Ключевые слова:* геологоразведочные работы, энергоснабжение, цена за подключение нагрузки.

**Limitovskiy A.M., Kasyanov V.A., Skachkov P.A.** ENERGY SUPPLY OF GEOLOGICAL UNITS RECEIVED FROM REGIONAL ELECTRIC POWER LINES IN THE MODERN CONDITIONS

*The consequences of establishing different prices rates at each region and the strategic direction of supplying power to facilities in these conditions. The rates on power supply are analyzed for some regions in accordance with the parameters of power supply systems, such as: the category of consumer, electrical voltage and others.*

*Key words:* Geological surveying, power supply, rate for electrical load hook up.