

УДК 622:552.2

А.А. Козырев, Н.О. Губинский

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЙТИНГА ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД
И РУД АЛМАЗНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
В СООТВЕТСТВИИ С КЛАССИФИКАЦИЕЙ
Д. ЛОБШИРА**

Описана методика определения рейтинга массива горных пород при помощи классификации профессора Д. Лобшира. Произведено определение рейтинга руд и вмещающих пород для условий алмазного месторождения, расположенного на территории Российской Федерации. Показано, что породы и руды данного месторождения относятся к 4 классу в соответствии с классификацией Д. Лобшира и имеют низкую устойчивость (хорошую обрушаемость), за исключением пород Верхней свиты. Даны рекомендации по выбору системы разработки и креплению подземных выработок.

Ключевые слова: скальный массив, трещиноватость массива, подземные воды, взрывные работы, водоприток.

Свойства массивов достаточно разнообразны и для описания их характеристик возникла необходимость систематизации и сведения к общему числовому показателю [1].

Классификации массивов являются основой эмпирического подхода к проектированию различных сооружений в скальных массивах и нашли в этой области широкое распространение. Инженеры предпочитают численные значения качественным описаниям и поэтому количественные классификации являются полезными при проведении изысканий и проектировании горных работ. Данные системы оценки качества были с большим успехом использованы при проектировании в Австрии, Южной Африке, Соединенных Штатах, Индии и Европе.

Разработкой классификаций массивов горных пород занимались такие ученые, как Протодьяконов, Дир (RQD), Мюллер, Франклин, Терцаги, Лин, Ланди, Бартон, Бенявски (RMR),

Романа (SMR), Лобшир (MRMR), Булычев и др. [1—7].

Описание рейтинговой классификации Д. Лобшира

На сегодняшний день в мировой практике наиболее многофункциональной и практичной является рейтинговая классификация Д. Лобшира (MRMR).

Рейтинговая классификация Лобшира применяется для следующих целей: составление проекта крепления, составление диаграмм зон обрушения, расчет устойчивости целиков, определение степени обрушаемости и дробимости при самообрушении, обоснование порядка ведения горных работ и т.д. [3, 8].

В целом алгоритм определения рейтинга массива по данной классификации можно представить в виде следующей блок-схемы (рис. 1).

Как видно из блок-схемы, рейтинг MRMR из суммы частных рейтингов (IRMR), учитывающих прочностные характеристики массива, количест-

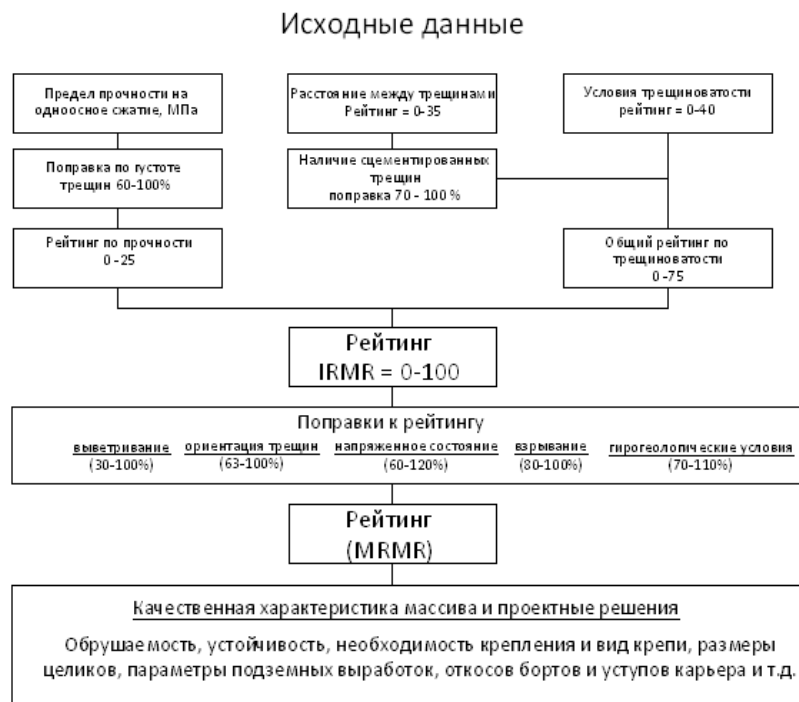


Рис. 1. Блок-схема к алгоритму определения рейтингового показателя MRMR по классификации профессора Д. Лобшира [3, 6]

венные и качественные характеристики трещиноватости, которая в свою очередь домножается на поправочные коэффициенты, отражающие степень выветрелости пород, ориентацию трещин в массиве, параметры напряженного состояния, гидрогеологические условия и др.

Также получение рейтинга MRMR можно выразить формулой:

$$MRMR = RMR \cdot k;$$

$$RMR = R_{RBS} + J_S + J_C,$$

где R_{RBS} — прочность породного блока; J_S — рейтинг по количеству трещин; J_C — рейтинг условий трещиноватости; k — коэффициенты, учитывающие выветривание, ориентацию трещин, напряжения в массиве, взрывание, наличие подземных водопритоков.

Составляющая рейтинга RBS в однородном массиве, без жил, даек и разрывов вычисляется следующим образом

$$RBS = IRS \cdot 0,8,$$

где IRS — прочность нетронутого массива (Intact Rock Strength).

Если же массив сильнотрещиноватый, имеются разрывы сплошности параметр RBS определяется по номограмме, учитывающей крепость пород, а также степень трещиноватости. Перемножив данные показатели, по номограмме (рис. 2) находят показатель степени снижения $IRS-FF/m$ (количество трещин на 1 м) [3, 6].

Таким образом, RBS определяется как

$$RBS = IRS \cdot 0,8 \cdot k.$$

Таблица 1

Таблица к определению показателя инверсии по коэффициенту крепости (по шкале Мооса) [3, 6]

Заполнитель	Тальк, молибден	Гипс, хлорит	Кальцит, ангидрит	Флюорит, халькопирит	Апатит
Коэффициент крепости заполнителя	1	2	3	4	5
Инверсия	1,0	0,5	0,33	0,25	0,2

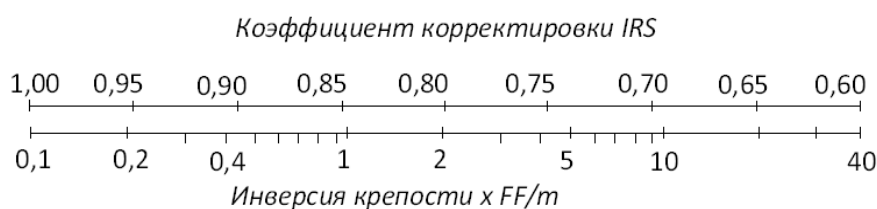


Рис. 2. Номограмма корректировки прочности нетронутого массива с учетом крепости руды и густоты трещин [3,6]

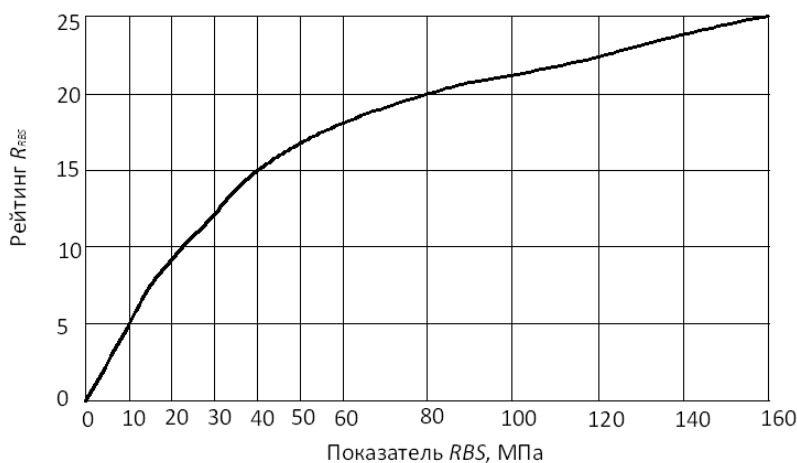


Рис. 3. Определение рейтинга R_{RBS} прочности породного блока [3,6]

Данное вычисление позволяет найти коэффициент корректировки RBS по номограмме, представленной на рис. 2.

Далее по графику на рис. 3, находится составляющая рейтинга RMR — R_{RBS} .

Рейтинг J_S зависит от густоты трещин (FF/m) или от расстояния между ними в массиве. Определяется

он по графику, представленному на рис. 4.

Максимальный показатель рейтинга $J_c=40$ единиц, он подлежит корректировке коэффициентами, представленными в табл. 2 [3].

Рейтинг J_c определяется следующим образом

$$j_c = 40 \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \frac{D}{100} \times \frac{E}{100}.$$

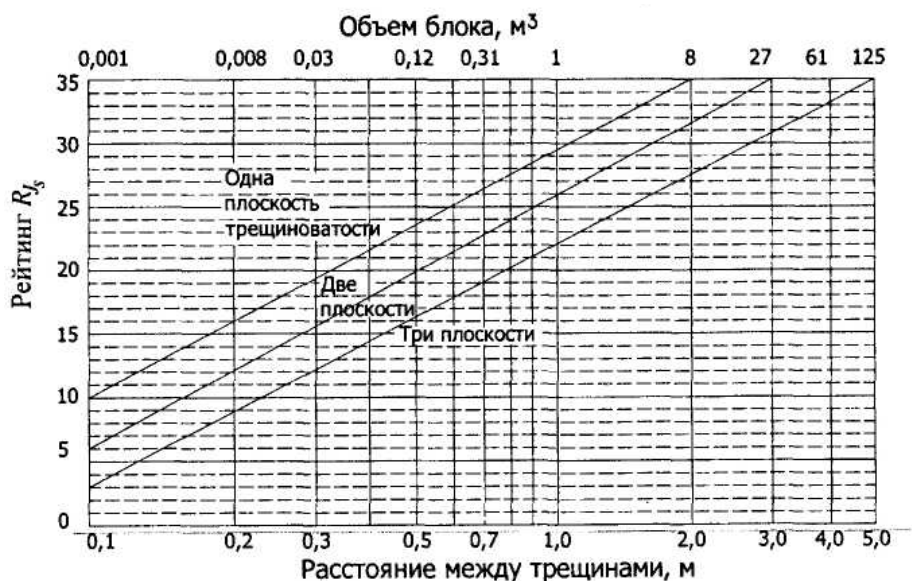


Рис. 4. Рейтинг трещиноватости массива J_s [3,6]

Таблица 2

Поправочные коэффициенты к показателю J_c [3,6]

А. Крупномасштабное влияние трещин		
Разнонаправленные волнообразные		100
Однонаправленные волнообразные		95
Кривые		90
Слегка волнообразные или прямые		85
В. Небольшие расстояния между трещинами 200x200 мм		
Неровные выступы/нерегулярные		95
Плавные выступы		90
Гладкие выступы		85
Шероховатые волнистые		80
Плавные шероховатые		75
Гладкие и шероховатые		70
Шероховатые плоские		65
Плавные плоские		60
Гладкие		55
С. Стенки трещин деформированы и слабее, чем породы и заполнитель		75
Д. Раздувы		
Толщина < протяженности		60
Толщина > протяженности		30
Е. Сцементированные наполненные трещины (порода прочнее заполнителя трещин)		
Крепость заполнителя	Значение коэффициента	
5	95	
4	90	
3	85	
2	80	
1	75	

Таблице 3

Коэффициенты по фактору выветривания [3, 6]

Степень выветренности пород, %	Время, годы				
	полгода	1	2	3	4 и более
Свежая	100	100	100	100	100
Легкая	88	90	92	94	96
Средняя	85	84	86	88	90
Высокая	70	72	74	76	78
Полная	54	56	58	60	62
Кора выветривания	30	32	34	36	38

Таблица 4

Процентные данные по ориентации трещин [3, 6]

Число трещин, определяющих блок	Число забоев, отклоненных от вертикали				
	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %
3	3	-3	8	-2	-1
4	4	3	-3	2	2,1
5	5	5	4	3	
6	6				

Как видно из формулы, максимальное значение J_c равно 40 и подлежит корректировке с помощью коэффициентов, представленных в табл. 2. Для вычисления рейтинга $MRMR$ необходимо умножить рейтинг RMR на соответствующие коэффициенты.

Выветривание. Коэффициент влияния выветривания приведен в табл. 3.

Коэффициент ориентации трещин. Коэффициенты, учитывающие ориентацию трещин, приведены в табл. 4 и 5.

Давление, вызванное горными работами. Сжимающие напряжения повышают устойчивость массива пород и препятствуют обрушению. В этом случае влияние коэффициента напряженного состояния составляет 120 %.

Взрывные работы. Результатом ведения взрывных работ является появление новых трещин и раскрытие уже имеющихся, что ведет к снижению прочности массива. Поправочные коэффициенты по данному фактору представлены в табл. 6.

Влияние подземных вод. В общем случае наличие подземных водонос-

ных горизонтов приводит к снижению прочности массива, ослабляя трение между структурными блоками. Коэффициенты, учитывающие подземные воды, приведены в табл. 7.

Смерзаемость пород. При наличии льдистости пород в районах вечной мерзлоты массив может иметь большую устойчивость, которая обычно снижается со временем. В данных условиях показатель $MRMR$ будет изменяться от 100 до 120 % [3, 8].

В табл. 8 приведена методика Д. Лобшира по определению параметров систем разработки с обрушением на основе рейтинговых показателей массивов.

Пример использования рейтинговой классификации Д. Лобшира

Рассмотрим пример использования данной классификации для оценки устойчивости массива горных пород. Данное определение произведем для условий руд и вмещающих пород одного из алмазных месторождений, расположенного на территории Российской Федерации.

Таблица 5

Коэффициенты ориентации трещин [3, 6]

Число трещин, определяющих блок	Число трещин, отклоненных от вертикали	Коэффициенты ориентации трещин в массиве для учета различий в условиях трещиноватости, %		
		0 — 15°	16 — 30°	95°
3	3	70	80	95
	2	80	90	95
4	4	78	80	90
	3	75	80	95
5	2	85	90	95
	5	70	75	80
	4	75	80	85
	3	80	85	90
	2	85	90	95
	1	90	95	

Таблица 6

Коэффициенты по фактору взрывных работ [3, 6]

Процесс проходки	Влияние, %
Бурение	100
Гладкое взрывание	97
Хорошее стандартное взрывание	94
Плохое взрывание	80

Таблица 7

Влияние подземных вод [3, 6]

Влажные условия	Среднее давление 1—5 МПа, 25 — 125 л/мин	Высокое давление > 5 МПа, > 125 л/мин
95 — 90 %	90 — 80 %	80 — 70 %

Для характеристики горно-геологических условий месторождения весь массив пород условно разбит на несколько горно-геологических ярусов, представленных комплексами пород, хорошо различающимися по строению, литологическим и физико-механическим свойствам на покровный, вмещающий и основной.

Вмещающий горно-геологический ярус на вертикальном разрезе представлен тремя свитами: *Верхней*, *Срединной* и *Нижней*.

Основной горно-геологический ярус представляет собой трубку взрыва с ярко выраженными контурами *кратерной* и *жерловой* частей (рис. 5).

Массив вмещающих пород

Для условий *Верхней* свиты $RMR_B = R_{RBS} + J_S + J_C$.

Средний предел прочности образцов *Верхней* свиты на одноосное сжатие равен 3 МПа, модуль трещиноватости — 0,5 тр/м (расстояние между трещинами — 2 м), следовательно, с учетом того, что массив вмещающих пород практически нетрещиноват, получаем:

$$RBS_B = IRS \cdot 0,8 = 3 \cdot 0,8 = 2,4.$$

По графику (см. рис. 3) рейтинговый показатель $R_{RBS} \approx 1$. По графику (рис. 4) $J_S \approx 35$.

Значения рейтингового показателя по закрытым трещинам (J_C) определяется по характеру трещиноватости:

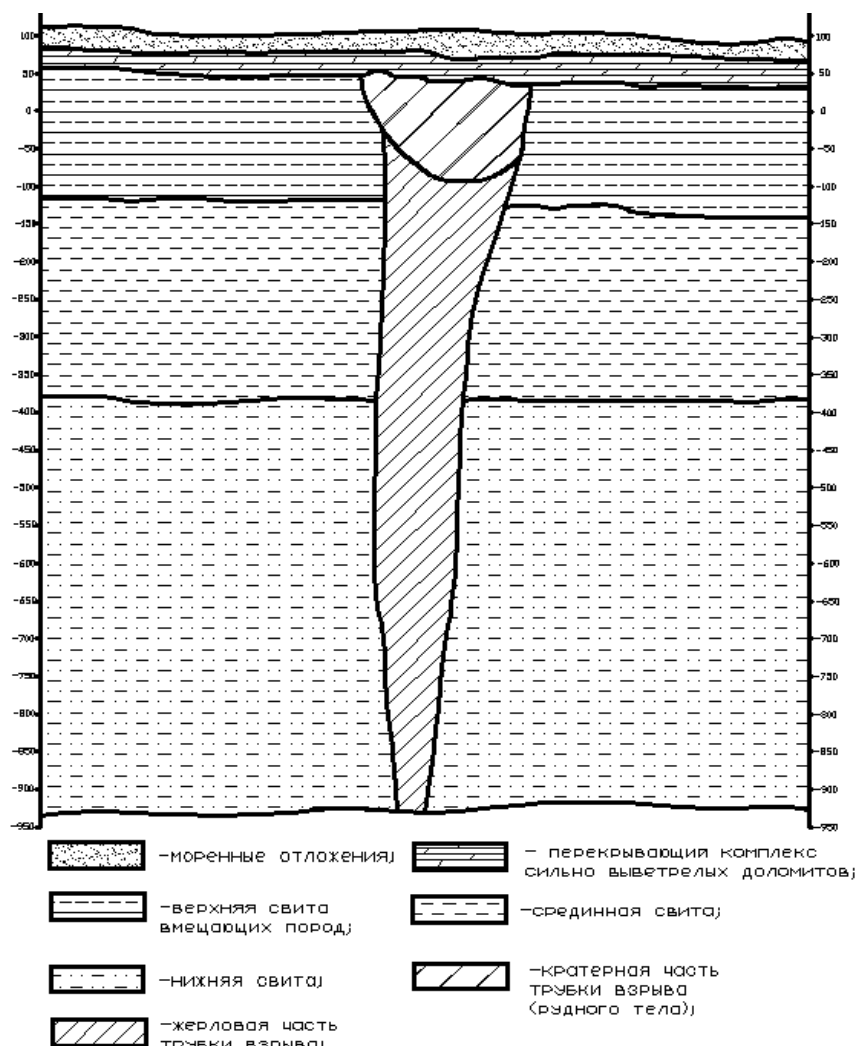


Рис. 5. Схематический геологический разрез в районе алмазного месторождения

трещины — волнообразные разнонаправленные ($A = 100\%$), с гладкими выступами ($B = 85\%$), заполнены мелкокусковым материалом, крепостью заполнителя (по шкале Мооса) — 1.

$$j_c = 40 \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \frac{D}{100} \times \frac{E}{100} =$$

$$= 40 \times \frac{100}{100} \times \frac{85}{100} \times \frac{75}{100} \approx 25,5.$$

Получаем

$$RMR_B = 1 + 35 + 25,5 = 61,5.$$

Водопритоки понижают прочность массива. Для условий Верхней свиты средний водоприток составляет 6314 л/мин. По таблице 6 получаем понижающий коэффициент 0,7.

Поскольку руды и породы не ослаблены выветриванием, то коэффициент по данному показателю в дальнейших расчетах учитываться не будет

Таблица 8

Определение параметров систем разработки на основе рейтинговых показателей массива $MRMR$ [3, 5]

Класс/рейтинг	5/5— 20	4/21— 40	3/41— 60	2/61— 80	1/81— 100
Этажное самообрушение					
Гидравлический радиус, м	1 — 8	8 — 18	18 — 32	32 — 50	>50
Обрушаемость	Очень хорошая	Хорошая	Средняя	Плохая	Очень плохая
Дробимость, м	0,01 — 3	0,1 — 2,0	0,4 — 5	1,5 — 9	3 — 20
Вторичное дробление					
объем бурения, м	0 — 50	50 — 150	150— 400	400— 700	
расход ВВ, г/т	0 — 20	20 — 60	60 -150	150 —250	>700
диаметр зоны выпуска, м	6 — 7	8 — 9	10 — 11,5	12 — 13,5	>250
Ширина зоны выпуска (диаметр ворожок), м:					15
для грохотов	5 — 7	7 — 10	9 — 12		
для лебедок	5 — 7	7 — 10	9 — 12		
для ПДМ	9	9 -13	11 — 15	13 — 18	
Ширина пунктов выпуска, м	1,5—2,4	2,4 — 3,5	2,4 — 4	4	
Комментарий	Хорошая дробимость, усиленное крепление	Средняя дробимость, среднее крепление	От среднего к крупным блокам, вторичное дробление	Крупные блоки, большие ПДМ, большой объем вторичного дробления	
Подэтажное обрушение					
Потери скважин	Выше среднего	Средние	Незначительные	-	-
Крепление	Усиленное	Среднее	Среднее	Локальное	-
Разубоживание	Очень высокое	Высокое	Среднее	Локальное	-
Комментарий	Неприменимо	Применимо	Удовлетворительно		

В итоге

$$MRMR_B = RMR_B \cdot k = 61,5 \cdot 0,7 \approx 43.$$

Для условий Срединной свиты

Средний предел прочности образцов Срединной свиты на одноосное сжатие равен 5 МПа, модуль трещиноватости — 0,5 тр/м (расстояние между трещинами — 2 м), поэтому: $RBS_C = IRS \cdot 0,8 = 5 \cdot 0,8 = 4$.

По графику (см. рис. 3) рейтинговый показатель $R_{RBS} \approx 2$. По графику (рис. 4) $J_S \approx 35$.

Трещины — прямые ($A = 85\%$), стенки шероховатые ($B = 65\%$), заполнены мелкокусковым материалом,

крепостью заполнителя (по шкале Мооса) — 1.

$$j_c = 40 \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \frac{D}{100} \times \frac{E}{100} =$$

$$= 40 \times \frac{85}{100} \times \frac{65}{100} \times \frac{75}{100} \approx 17.$$

$$RMR_C = 2 + 35 + 17 = 54.$$

Средний водоприток составляет 1068 л/мин. По табл. 6 получаем понижающий коэффициент 0,7.

$$MRMR_C = RMR_C \cdot k = 54 \cdot 0,7 \approx 38.$$

Для условий Нижней свиты

Средний предел прочности образцов Нижней свиты на одноосное сжатие — 10 МПа (табл. 8), модуль трещиноватости — 0,5 тр/м

Имеем

$$RBS_H = IRS \cdot 0,8 = 10 \cdot 0,8 = 8.$$

По графику (см. рис. 3) — $R_{RBS} \approx 4$.
 $J_S \approx 35$.

Трещины — прямые ($A = 85\%$), стенки шероховатые ($B = 65\%$), заполнены мелкокусковым материалом, крепостью заполнителя (по шкале Мооса) — 1.

$$j_c = 40 \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \frac{D}{100} \times \frac{E}{100} =$$

$$= 40 \times \frac{85}{100} \times \frac{65}{100} \times \frac{75}{100} \approx 17.$$

$$RMR_H = 4 + 35 + 17 = 56.$$

Средний водоприток составляет 200 л/мин. По табл. 6 получаем понижающий коэффициент 0,7.

$$MRMR_H = RMR_H \cdot k = 56 \cdot 0,7 \approx 39.$$

Массив трубки взрыва (рудного тела)

Расчет рейтинга массива пород рудного тела будем вести по двум выделенным ее частям: *кратерной* и *жерловой* частям.

Для условий кратерной части трубки

Средний предел прочности образцов кратерной части трубки на одноосное сжатие равен 12 МПа, модуль трещиноватости — 8 тр/м (среднее расстояние между трещинами — 0,13 м), следовательно, с учетом трещиноватости, получаем:

$$RBS_K = IRS \cdot 0,8 \cdot k,$$

где k — коэффициент корректировки IRS. Данный коэффициент вычисляется по шкале, представленной на рис. 2, исходя из значения «инверсия крепости $\times FF/m$ ».

Трещины заполнены материалом с крепостью по шкале Мооса — 2.

Следовательно, Инверсия — 0,33. $FF/m = M_{тр} = 8$. Получаем значение «инверсия крепости $\times FF/m$ » = $0,33 \cdot 8 \approx 2,6$.

По номограмме корректировки прочности (рис. 2) имеем $k \approx 0,77$.

В итоге

$$RBS_K = 12 \cdot 0,8 \cdot 0,77 \approx 7.$$

По графику (см. рис. 3) рейтинговый показатель $R_{RBS} \approx 4$. По графику (рис. 4) $J_S \approx 12$.

Трещины однонаправленные волнообразные ($A = 95\%$), с гладкими выступами ($B = 85\%$), имеются раздувы ($D = 60\%$), заполнены мелкокусковым материалом, крепостью заполнителя 1.

$$j_c = 40 \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \frac{D}{100} \times \frac{E}{100} =$$

$$= 40 \times \frac{95}{100} \times \frac{85}{100} \times \frac{60}{100} \times \frac{75}{100} \approx 14,5.$$

$$RMR_K = 4 + 12 + 14,5 = 30,5.$$

Понижающий коэффициент, учитывающий притоки подземных вод, для условий кратерной части трубки, находящейся в отметках Верхней свиты, также будет равен 0,7.

Получаем

$$MRMR_K = RMR_K \cdot k = 30,5 \cdot 0,7 \approx 21.$$

Для условий жерловой части трубки

Средний предел прочности образцов жерловой части трубки на одноосное сжатие равен 50 МПа, модуль трещиноватости — 8 тр/м (среднее расстояние между трещинами — 0,13 м), получаем:

$$RBS_{Ж} = 50 \cdot 0,8 \cdot 0,77 \approx 31.$$

По графику (рис. 3) рейтинговый показатель $R_{RBS} \approx 13$. Рейтинг $J_S \approx 12$. Рейтинг J_C , по аналогии с кратерной частью трубки, равен 30,5.

$$RMR_{Ж} = 13 + 12 + 30,5 = 55,5.$$

По графику (рис. 3) рейтинговый показатель $R_{RBS} \approx 13$. Рейтинг $J_S \approx 12$. Рейтинг J_C , по аналогии с кратерной частью трубки, равен 30,5.

8 Таблица 8

Определение параметров систем разработки на основе рейтинговых показателей массива MRMR [3, 5]

	5/5 — 20	4/21 — 40	3/41 — 60	2/61 — 80	1/81 — 100
Класс/рейтинг					
Этажное самообрушение					
Гидравлический радиус, м	1 — 8	8 — 18	18 — 32	32 — 50	>50
Обрушаемость	Очень хорошая 0,01 — 3	Хорошая 0,1 — 2,0	Средняя 0,4 — 5	Плохая 1,5 — 9	Очень плохая 3 — 20
Дробимость, м	0 — 50	50 — 150	150 — 400	400 — 700	>700
Вторичное дробление: объем бурения, м	0 — 20	20 — 60	60 -150	150 — 250	>250
расход ВВ, г/т	6 — 7	8 — 9	10 — 11,5	12 — 13,5	15
диаметр зоны выпуска, м	5 — 7	7 — 10	9 — 12	9 — 12	
Ширина зоны выпуска (диаметр ворогов), м:	5 — 7	7 — 10	9 — 12	9 — 12	
для грохотов	9	7 — 10	9 — 12	9 — 12	
для лебедок	1,5 — 2,4	9 -13	11 — 15	13 — 18	
для ПДМ		2,4 — 3,5	2,4 — 4	4	
Ширина пунктов выпуска, м					
Комментарий	Хорошая дробимость, усиленное крепление	Средняя дробимость, среднее крепление	От среднего к крупным блокам, вторичное дробление	Крупные блоки, большие ПДМ, большой объем вторичного дробления	
Подэтажное обрушение					
Потери скважин	Выше среднего	Средние	Незначительные	-	-
Крепление	Усиленное	Среднее	Среднее	Локальное	-
Разубоживание	Очень высокое	Высокое	Среднее	Локальное	-
Комментарий	Неприменимо	Применимо	Удовлетворительно		

Таблица 9

Итоговая таблица расчетов рейтинга MRMR

	Вмещающие породы			Руды	
	Верхняя свита	Срединная свита	Нижняя свита	Кратерная часть трубки	Жерловая часть трубки
Рейтинг MRMR	43	38	39	21	39
Класс пород по Д. Лобширу	3	4	4	4	4
Описание пород по устойчивости (обрушаемости)	Средняя (средняя)	Низкая (хорошая)	Низкая (хорошая)	Низкая (хорошая)	Низкая (хорошая)

$$RMR_{Ж} = 13 + 12 + 30,5 = 55,5.$$

Понижающий коэффициент, учитывающий притоки подземных вод равен 0,7.

$$MRMR_{Ж} = RMR_{Ж} \cdot k = 55,5 \cdot 0,7 \approx 39.$$

Результаты расчетов рейтинга MRMR для условий руд и вмещающих пород алмазного месторождения сводим в табл. 9.

Как видно из табл. 9, руды и породы данного месторождения относятся к 4 классу и имеют низкую устойчивость (хорошую обрушаемость),

за исключением пород Верхней свиты, которые принадлежат к 3 классу и имеют среднюю устойчивость (среднюю обрушаемость). На основании результатов расчетов к рассмотрению при проектировании горных работ могут быть рекомендованы два класса систем разработки: с закладкой выработанного пространства и с обрушением, а при проведении капитальных и подготовительных выработок рекомендуется их усиленное крепление.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмин Е.В., Узбекова А.Р. Рейтинговые классификации массивов скальных пород: предпосылки создания, развитие и область применения // ГИАБ, №4, 2004. — С. 201—202.
2. Введение в механику скальных пород: Пер. с англ./Под ред. Х. Бока. — М.: Мир, 1983. — 276 с., ил.
3. Кузьмин Е.В., Узбекова А.Р. Самообрушение руды при подземной добыче: Учебное пособие. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. — 283 с.: ил.
4. Beniaowski Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classification. Wiley, New York. 251 pages.
5. Laubscher D.H., 1990. A Geomechanics Classification System for the Rating of Rock mass in Mine Design, J Sth Afr Inst Min Met, 90(10):257-73.
6. Laubscher D.H., Jacubec J. The MRMR Rock Mass Classification for jointed rock masses. Foundations for Design. 2000.
7. Бульчев Н.С. Механика подземных сооружений. Учебник для вузов. — М., Недра, 1982. — 270 с.
8. Jacubec J., Laubscher D.H., 2000. The MRMR Rock Mass Rating Classification System in Mining Practice. Brisbane. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Козырев А.А. — доктор технических наук, профессор, заместитель директора, Губинский Н.О. — младший научный сотрудник лаборатории геомеханики, Горный институт КНЦ РАН, root@goi.kolasc.net.ru