

УДК 621.273.132

Определение рейтинга массива горных пород по геомеханической классификации Д. Лобшира для условий алмазного месторождения

Н.О. Губинский

Горный институт КНЦ РАН

Аннотация. В работе описывается 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.

Abstract. The Laubscher's MRMR rock mass classification system has been described in this paper. The ratings definition of ores and host rocks of diamond deposit located in the Russian Federation has been carried out. It has been shown that ores and host rocks, according to MRMR classification, belong to the 4th class and have poor stability (good cavability), except for the rocks of the Upper assise. The mining method selection and underground openings support recommendations have been given.

Ключевые слова: геомеханическая классификация Лобшира, алмазное месторождение
Key words: MRMR, Laubscher, diamond deposit

1. Введение

Свойства массивов горных пород достаточно разнообразны, и для описания их характеристик возникла необходимость систематизации и сведения к общему числовому показателю (*Кузьмин, Узбекова, 2004*).

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. (*Кузьмин, Узбекова, 2004; 2006; Введение..., 1983; Beniawski, 1989; Laubscher, 1990; Laubscher, Jacubec, 2000; Булычев, 1982*).

2. Описание рейтинговой классификации Д. Лобшира

На сегодняшний день в мировой практике наиболее многофункциональной и практичной является рейтинговая классификация Д. Лобшира (MRMR – Mining Rock Mass Rating).

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. (*Кузьмин, Узбекова, 2006; Jacubec, Laubscher, 2000*).

Представленное ниже описание классификации, а также приводимые формулы, коэффициенты и т.д. взяты из следующих источников: *Кузьмин, Узбекова, 2006; Laubscher, Jacubec, 2000*.

В целом алгоритм определения рейтинга массива по данной классификации можно представить в виде блок-схемы (рис. 1). Как видно из нее, рейтинг MRMR складывается из частных рейтингов (IRMR), учитывающих прочностные характеристики массива, количественные 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:



Рис. 1. Блок-схема к алгоритму определения рейтингового показателя MRMR по классификации профессора Д. Лобшира

$$MRMR = RMR \times k;$$

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

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

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

где IRS – прочность нетронутого массива (Intact Rock Strenght).

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).

Таким образом, RBS определяется как

$$RBS = IRS \times 0,8 \times k,$$

где k – коэффициент корректировки IRS , доли ед.

Данное вычисление позволяет найти коэффициент корректировки RBS по номограмме, представленной на рис. 2. В номограмме под инверсией понимается величина, обратная коэффициенту крепости заполнителя по шкале Мооса. В табл. 1 приведены значения коэффициентов крепости наиболее распространенных видов заполнителей.

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.

Рис. 2. Номограмма корректировки прочности нетронутого массива с учетом крепости руды и густоты трещин

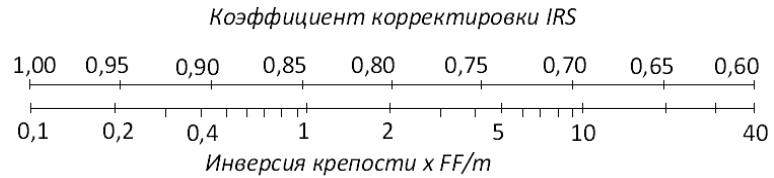


Рис. 3. Определение рейтинга R_{RBS} прочности породного блока

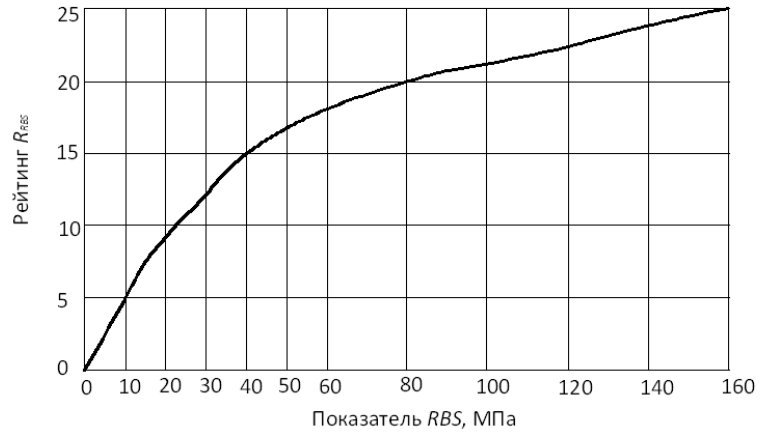


Рис. 4. Рейтинг трещиноватости массива J_s

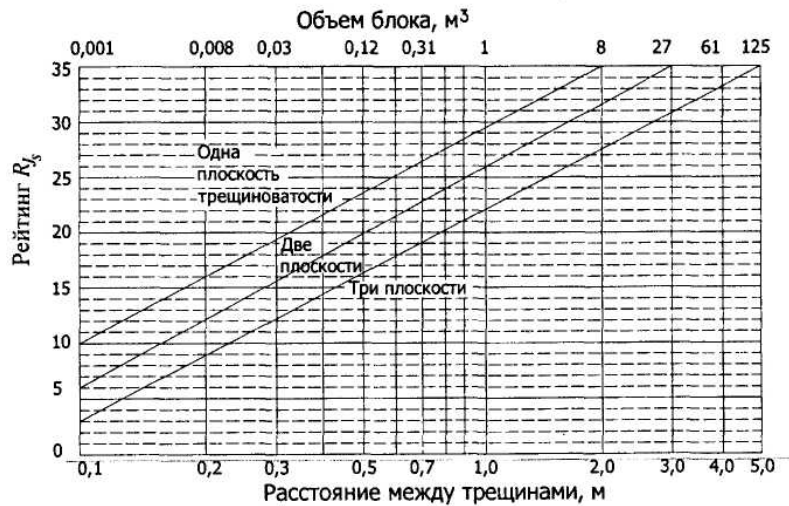


Таблица 1. Таблица к определению показателя инверсии по коэффициенту крепости (по шкале Мооса)

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

Рейтинг J_c определяется следующим образом

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

Как видно из формулы, максимальное значение J_c равно 40 и подлежит корректировке с помощью коэффициентов $A - E$, 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 %.

Таблица 2. Поправочные коэффициенты к показателю J_c

А. Крупномасштабное влияние трещин					
Разнонаправленные волнообразные		100			
Однонаправленные волнообразные		95			
Кривые		90			
Слегка волнообразные или прямые		85			
В. Небольшие расстояния между трещинами 200×200 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. Цементированные наполненные трещины (порода прочнее заполнителя трещин):					
Крепость заполнителя	5	4	3	2	1
Значение коэффициента	95	90	85	80	75

Таблица 3. Коэффициенты по фактору выветривания

Степень выветренности пород, %	полгода	1 год	2 года	3 года	4 года 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

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

Таблица 5. Коэффициенты ориентации трещин

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
5	4	75	80	85
	3	80	85	90
	2	85	90	95
	1	90	95	

Таблица 6. Коэффициенты по фактору взрывных работ

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

Таблица 7. Влияние подземных вод

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

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 водоносных 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 %.

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

Таблица 8. Определение параметров систем разработки на основе рейтинговых показателей массива MRMR

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 расход ВВ, г/т	0 – 50 0 – 20	50 – 150 20 – 60	150 – 400 60 – 150	400 – 700 150 – 250	>700 >250
Диаметр зоны выпуска, м	6 – 7	8 – 9	10 – 11,5	12 – 13,5	15
Ширина зоны выпуска (диаметр воронок), м: для грохотов для лебедок для ПДМ	5 – 7 5 – 7 9	7 – 10 7 – 10 9 – 13	9 – 12 9 – 12 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		

3. Пример использования рейтинговой классификации Д. Лобшира

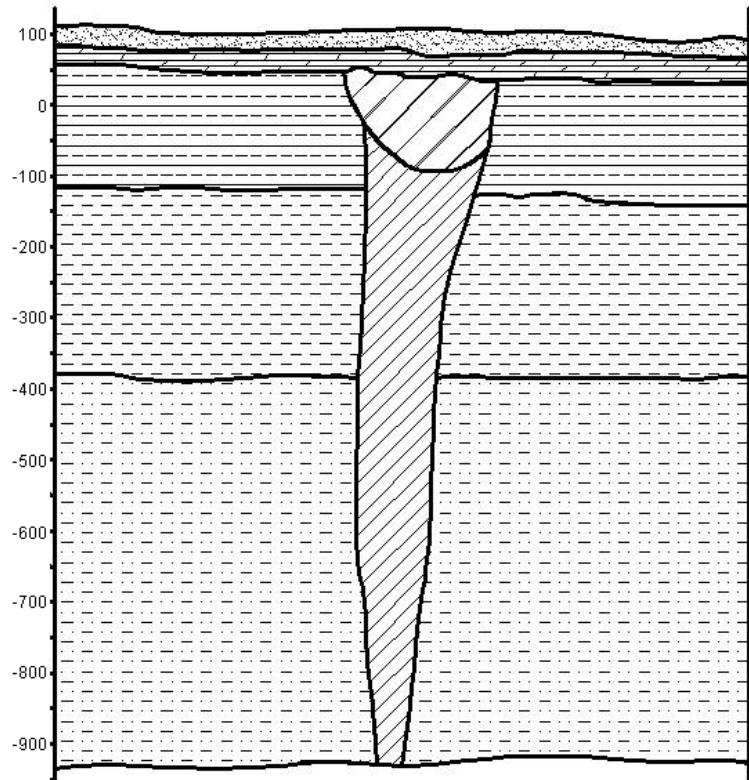
Рассмотрим пример использования данной классификации для оценки устойчивости массива горных пород. Данное определение произведем для условий руд и вмещающих пород одного из алмазных месторождений, расположенного на территории Российской Федерации.

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).

Рис. 5. Схематический геологический разрез в районе алмазного месторождения



3.1. 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:

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

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: 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 табл. 6 получаем понижающий коэффициент 0,7.

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

В итоге

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

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:

$$RBS_C = IRS \times 0,8 = 5 \times 0,8 = 4.$$

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.

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

Для условий Нижней свиты

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

Имеем

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

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.

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

3.2. 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:

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

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 3. Следовательно, инверсия – 0,33 (см. табл. 1). $FF/m = M_{mp} = 8$. Получаем значение "инверсия крепости $\times FF/m$ " = $0,33 \times 8 \approx 2,6$.

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

В итоге

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

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

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

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:

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

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.

$$RMR_{ж} = 13 + 12 + 30,5 = 55,5.$$

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

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

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

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)

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.

4. Заключение

В данной работе рассмотрен пример использования геомеханической классификации проф. Д. Лобшира для получения качественной характеристики исследуемого массива горных пород.

Результаты расчетов показали, что руды и породы рассматриваемого алмазного месторождения принадлежат 4 классу и характеризуются низкой устойчивостью (хорошей обрушаемостью). Исключение составили породы Верхней свиты, относящиеся к 3 классу и имеющие среднюю устойчивость (среднюю обрушаемость).

В целом, 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).

Литература

- Beniawski Z.T.** Engineering rock mass classification. *Wiley, New York*, 251 p., 1989.
- Jacubec J., Laubscher D.H.** The MRMR rock mass rating classification system in mining practice. *Brisbane*, p.413-421, 2000.
- Laubscher D.H.** A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design. *J Sth Afr Inst Min Met*, v.90(10), p.257-273, 1990.
- Laubscher D.H., Jacubec J.** The MRMR Rock Mass Classification for jointed rock masses. *Foundations for Design. Brisbane*, p.475-481, 2000.
- Булычев Н.С.** Механика подземных сооружений. Учебник для вузов. М., Недра, 270 с., 1982.
- Введение в механику скальных пород. *Под ред. Х. Бока. М., Мир*, 276 с., 1983.
- Кузьмин Е.В., Узбекова А.Р.** Рейтинговые классификации массивов скальных пород: предпосылки создания, развитие и область применения. *ГИАБ*, № 4, с.201-202, 2004.
- Кузьмин Е.В., Узбекова А.Р.** Самообрушение руды при подземной добыче. Учебное пособие. М., Изд-во Московского государственного горного университета, 283 с., 2006.