

**А.М.МОЧАЛОВ**, канд. техн. наук, зав. лабораторией, *mochalov\_am@spmi.ru*  
**С.В.КАГЕРМАЗОВА**, канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр., *mochalov\_am@spmi.ru*  
**Г.А.ГРЕБЕНЩИКОВА**, науч. сотр., *mochalov\_am@spmi.ru*  
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

**A.M.MOCHALOV**, PhD in eng. sc., laboratory head, *mochalov\_am@spmi.ru*  
**S.V.KAGERMAZOVA**, PhD in geol. & min. sc., senior research assistant, *mochalov\_am@spmi.ru*  
**G.A.GREBENSHCHIKOVA**, research assistant, *mochalov\_am@spmi.ru*  
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

## УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ СКАЛЬНЫХ И ПОЛУСКАЛЬНЫХ ПОРОД НА ПРОЧНОСТЬ МАССИВА ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ ПО ДАННЫМ РАЗВЕДКИ

Рассмотрен вопрос прогнозирования одного из показателей структуры массива горных пород – размера структурных блоков трещиноватых скальных и полускальных горных пород – показателя, необходимого для перехода от прочности (сцепления) пород в образце к сцеплению пород в массиве при оценке устойчивости бортов карьеров. Показано определение ориентировочного значения размера структурных блоков по керну инженерно-геологических скважин с помощью показателя качества (нарушенности) породы RQD на стадии разведки одного из рудных месторождений, предназначенного к открытой разработке.

**Ключевые слова:** прочность массива, трещиноватость пород, инженерно-геологические скважины, размер структурных блоков.

## ACCOUNT OF INFLUENCE OF FRACTURING OF STONY AND SEMISTONY ROCKS ON THE STRENGTH OF ROCK MASS IN EVALUATION OF STABILITY OF OPEN-PIT SLOPES BY PROSPECTING DATA

The Article considers the aspect concerning the prediction of one of indices of rock mass structure, i.e. a dimension of structural blocks of fractured stony and semistony rocks – the index which is required for transition from strength (cohesion) of rocks in a specimen to cohesion in rock mass in evaluation of open-pit slope stability. It is shown also the determination of reference value of the dimension of structural blocks by core from geological holes with the aid of RQD (Rock Quality Designation) at the stage of prospecting of one of ore deposits intended for open-pit mining.

**Key words:** strength of rock mass, fracturing of rocks, geological holes, a dimension of structural blocks.

При оценке устойчивости бортов и уступов карьеров одним из решающих факторов, подлежащих обязательному учету, является структура массива, характеризующаяся трещиноватостью пород, наличием поверхностей ослабления, выраженных плоскостями напластования, зонами тектонических

нарушений, трещинами большого протяжения и другими поверхностями.

От ориентировки крупных поверхностей ослабления горных пород относительно простирания борта в значительной степени зависит положение и форма поверхностей скольжения в массиве откоса [3, 4].

Интенсивность прерывистых ступенчато расположенных трещин определяет прочностные характеристики массива в направлениях, не совпадающих со сплошными протяженными трещинами (тектоническими наслоениями).

В общем случае при изучении трещиноватости пород необходимо установить количество систем трещин, элементы залегания трещин основных систем, интенсивность трещиноватости, размер и форму элементарных структурных блоков, образованных трещинами основных систем.

Интенсивность трещиноватости представляет собой величину, обратную среднему размеру (в метрах) элементарного блока породы, ограниченного смежными трещинами трех наиболее интенсивных систем. Размер элементарного структурного блока определяется непосредственными измерениями при изучении трещиноватости в естественных и искусственных обнажениях горных пород. Форма элементарного блока определяется относительным расположением (ориентацией) трещин.

Размер и форма элементарного структурного блока являются показателями, необходимыми для перехода от прочности пород в образце (удельное сцепление  $C_0$ ) к прочности массива (удельное сцепление  $C_m$ ) – одной из основных расчетных характеристик при оценке устойчивости бортов карьеров.

Учет влияния характера трещиноватости на свойства горного массива производится с помощью коэффициента структурного ослабления  $\lambda$ , который позволяет переходить от сцепления горных пород в образце к сцеплению пород в массиве  $C_m = \lambda C_0$  [3, 4].

Многолетние лабораторные и натурные исследования прочностных свойств образцов пород и горных трещиноватых массивов (методом разрушения больших призм и обратными расчетами разрушенных участков бортов и откосов уступов на карьерах), проведенные лабораторией устойчивости бортов карьеров под руководством проф. Г.Л.Фисенко, показали, что основными факторами, влияющими на сцепление массива, являются:

- сцепление пород, слагающих горные массивы, определяемое лабораторными испытаниями образцов пород;

- степень (интенсивность) трещиноватости пород массива;

- размер и форма элементарных структурных блоков, на которые разбит массив;

- размер (высота  $H$ ) деформирующихся и разрушающихся прибортовых массивов.

Последний фактор проявляется в том, что для массивов одних и тех же свойств и интенсивности трещиноватости с увеличением высоты прибортового массива сцепление уменьшается. Снижение сцепления массива также наблюдается при увеличении интенсивности трещиноватости в прибортовых массивах одинаковых размеров.

Такой эффект влияния трещиноватости на величину сцепления массива объясняется тем, что напряженное состояние, возникающее под влиянием касательных напряжений в прибортовом массиве карьера (котлована или другой выемки), охватывает зону в области формирующейся поверхности скольжения. Поле касательных напряжений в предельном состоянии придает элементарным блокам, ограниченными трещинами, вращательное движение. При этом предельное состояние прибортового массива наступает при напряжениях меньших, чем при срезе блоков пород по поверхности скольжения.

Величина зоны предельных напряжений в прибортовом массиве карьера зависит от параметров (высоты) борта – чем выше деформирующийся борт, тем большую мощность имеет зона предельных напряжений, а потому тем больших размеров структурные блоки приобретают возможность вращательного движения, в то время как при малой высоте крупные структурные блоки в предельном его состоянии должны были бы быть срезанными.

Такая гипотеза деформирования и разрушения структурированного трещиноватого массива, предложенная проф. Г.Л.Фисенко [4], объясняет причину снижения прочностных (сцепления) свойств массива пород по сравнению со сцеплением монолитного образца породы.

Следует отметить, что угол внутреннего трения, зависящий от состава пород и определяемый лабораторными испытаниями образцов пород на срез, с достаточной степенью достоверности может быть перенесен на трещиноватый массив.

Изложенная схема деформирования и разрушения трещиноватого массива характерна для условий, когда поверхность скольжения (разрушения) не совпадает с четко выраженными крупными поверхностями ослабления с контактами слоев, дизъюнктивными нарушениями, сплошными трещинами большого протяжения и др. При совпадении поверхности скольжения с поверхностью ослабления происходит плоское скольжение пород по поверхности ослабления; в этих случаях величина сцепления не зависит от размеров деформируемых массивов и структурных блоков и принимается равной сцеплению на поверхности ослабления.

По результатам натуральных и лабораторных испытаний установлена зависимость между сцеплением в образце и в массиве в виде эмпирической формулы:

$$C_m = \frac{C_0}{1 + a \ln(H/l)},$$

где  $a$  – коэффициент, зависящий от прочности породы в монолитном образце и характера трещиноватости [3,4];  $H/l$  – отношение высоты борта к среднему размеру элементарных блоков.

Таким образом, формула позволяет определить сцепление пород в массиве в зависимости от степени трещиноватости горных пород по направлениям, не совпадающим с поверхностями ослабления. Исходными инженерно-геологическими данными при этом являются прочность пород в образце, размер и форма структурных блоков.

Очевидно, что наиболее полную характеристику трещиноватости можно получить при изучении естественных и искусственных (горные выработки) обнажений горных пород. При отсутствии таких обнажений для решения вопроса устойчивости бортов карьеров, при разведке месторождений, сложенных скальными и полускальными

породами, прогнозируют трещиноватость горных пород.

Прогнозирование трещиноватости пород (размера и формы элементарных структурных блоков) может осуществляться методом аналогий, косвенными способами, основанными на зависимости показателей трещиноватости от различных геологических факторов, а также по выходу керна.

Метод аналогий дает возможность при изучении трещиноватости горных пород использовать общие закономерности возникновения трещиноватости горных массивов различного сложения и тектоники, так как количество систем трещин и их расположение зависят от условий образования пород, их литолого-петрографического состава и тектонической нарушенности массивов [4].

В работе [4] Г.Л.Фисенко сделана попытка общей оценки трещиноватости (интенсивности трещиноватости) горных массивов в зависимости от генезиса, состава и тектонической нарушенности горных пород.

Так, на основе многолетнего изучения трещиноватости горных пород ряда угольных месторождений установлено следующее:

- интенсивность трещиноватости, количество систем трещин зависят от тектонической нарушенности участка;

- при простом выдержанном (спокойном) залегании слоев в породах имеют развитие обычно три системы трещин: две крутопадающие продольная и поперечная, нормальносекущие наслоение, и одна, совпадающая с наслоением; форма структурных блоков близка к прямоугольной; протяженность трещин не более 3-5 м;

- сохраняемость ориентировки трещин зависит от геологической нарушенности; если в пределах месторождения слоистая толща сохраняет свою пространственную ориентировку, характер трещиноватости также остается неизменным; при наличии крупных геологических нарушений, меняющих ориентировку залегания толщи на отдельных участках, ориентировка трещин будет непостоянной;

- в зонах, близких к геологическим нарушениям, как складчатым, так и разрывным, интенсивность трещиноватости воз-

Размеры структурных блоков по результатам непосредственных измерений в уступах угольных карьеров

Наименование месторождения	Размер структурных блоков, м			
	Песчаники	Алевролиты	Аргиллиты	Уголь
Черногорское	0,50-1,20	0,40-1,00	0,20-0,50	
Изыхское	0,30-1,00	0,25-0,80	0,15-0,35	
Экибастузское	0,80	0,50	0,40	0,30
Черемховское	0,40-0,60	0,10-0,70	0,10-0,40	0,30
	1,00-3,00	1,00-2,50		
Азейское	0,20-0,60	0,20-0,30		0,10-0,20
Нерюнгринское	0,40-0,90	0,20		0,10
Куучекинское	0,90	0,50	0,30	0,20
Краснобродское	0,20-1,00	0,20-0,70	0,20-0,70	0,30
Коркинское	0,50-1,50	0,50-1,50	0,1-1,00	0,30-0,90
	(до 2,5-3,0)			
Еманжелинское	0,50-2,50	0,40-2,00	0,20-0,80	
Богословское	0,40-0,60	0,15-0,20	0,10-0,20	0,10
Волчанское	0,50-2,00	0,10-0,40	0,02-0,25	0,10-0,30
Холбольджинское	0,20-0,30	0,10-0,20		0,10-0,15
	0,50-1,00			
Вахрушевское	0,50-1,00		0,10-0,80	0,20-0,30

растает, четко прослеживаются кососекущие наслоение трещины; число систем трещин увеличивается; блоки имеют форму коугольных призм или близкую к прямоугольным;

- при сложной структуре массива – при наличии большого количества крупных и мелких нарушений – каждый участок массива, заключенный между нарушениями, изменяющими ориентировку слоев в пределах участка, имеет свою пространственную ориентировку трещин; в породах каждого участка устанавливается обычно 5-7 систем трещин; трещины имеют чаще всего крутые углы падения, равные 50-90°; встречаются имеющие значительно меньшее развитие пологие трещины, падающие под углом 20-35°;

- интенсивность проявления трещин в разных породах неодинакова; размеры элементарных структурных блоков для песчаников, алевролитов, аргиллитов и угля по разным угольным месторождениям, полученные по результатам непосредственных измерений в уступах карьеров, приведены в табл. 1.

Трещиноватость может быть оценена путем установления корреляционных зависимостей между выходом керна и интенсивностью трещиноватости пород.

Для количественной оценки трещиноватости по керну буровых скважин возможно использование показателя качества (нарушенности) пород RQD [1,2], который определяется по выходу керна при колонковом бурении и косвенно зависит от количества трещин, степени тектонической нарушенности и выветрелости породы; показатель RQD представляет собой суммарный выход керна в столбиках высотой более 0,1 м в процентах на 1 м керна (или на определенный интервал бурения с учетом линейного выхода керна). Значение этого показателя могут изменяться от 100 (несколько трещин) до 0 % (много трещин); как отмечается в работе [1], при высоких значениях RQD проявляется некоторая «нечувствительность» метода.

Ниже приведена классификация породы по качеству (или нарушенности) с использованием показателя RQD по Д.И.Диру [1, 2]:

RQD, %	Качество (характеристика) породы
0-25	Очень плохое (очень слабая)
25-50	Плохое (слабая)
50-75	Удовлетворительное (удовлетворительная)
75-90	Хорошее (хорошая)
90-100	Очень хорошее (отличная)

Показатели RQD по керну скважин и размер блоков пород в массиве месторождения (выход керна 100 %)

Номер, глубина скважины, борт	Интервал глубины по скважине, м	RQD (суммарный выход керна в столбиках > 0,1 м на 1 м), %	Состояние пород по классам RQD	Средний размер длины керна или ориентировочный размер блоков пород в массиве, м
№ 1, 210 м, южный	0-63,9	64	Удовлетворительное	0,22
	63,9-210	84	Хорошее (в основном)	0,42
	105,4-125,0	69	Удовлетворительное	0,42
	145,0-163,7			
№ 2, 228 м, восточный	0-28	8-31	Очень плохое, плохое	0,13-0,15
	28-228	69	Удовлетворительное	0,32
		78	Хорошее	0,39
№ 3, 248 м, северный	0-77	19	Очень плохое	0,10
		37	Плохое	0,18
	77-248	59	Удовлетворительное	0,26
		80	Хорошее	0,40
	190-215	91	Очень хорошее	0,40
№ 4, 246 м, западный	0-32	36	Плохое	0,09
	32-52	68	Удовлетворительное	0,25
		84	Хорошее	0,39
	52-246	93	Очень хорошее	0,45

Таблица 3

Среднее значение длины столбиков керна (или средний размер структурных блоков) в зависимости от показателя RQD для пород рассматриваемого рудного месторождения

Величина RQD по классификации Дира, % (состояние породы по классам RQD)	Средняя длина столбиков керна $l$ по скважинам глубиной $H$ , м				Среднее значение длины столбика породы по всем скважинам, м
	№ 1, $H = 210$ м, южный борт	№ 2, $H = 228$ м, восточный борт	№ 3, $H = 248$ м, северный борт	№ 4, $H = 246$ м, западный борт	
0-25 (очень плохое)		0,15	0,10		0,12
25-50 (плохое)		0,13	0,18	0,09	0,14
50-75 (удовлетворительное)	0,32	0,32	0,26	0,25	0,29
75-90 (хорошее)	0,43	0,39	0,40	0,39	0,40
90-100 (очень хорошее)			0,40	0,46	0,42

Приведено очень краткое описание состояния породы. Показатель RQD дает представление о качестве (нарушенности) породы, но не определяет длину кусков керна по оси, ее надо замерять для ориентировочного определения среднего размера столбика керна.

Для определения показателя RQD требуется высокое качество бурения, в расчет принимается керн диаметром  $\geq 50$  мм [1]. Использование этого показателя при бурении скважин позволяет определить степень нарушения (качество) различных частей массива пород и ориентировочный размер кусков керна (или блоков) породы.

С целью определения связи между ориентировочными средними размерами кусков керна и показателями качества породы RQD при разведочных работах на одном из рудных месторождений, предназначенного к открытой разработке и сложенного скальными и полускальными породами (гранодиоритами), были пробурены четыре инженерно-геологические скважины глубиной 210-248 м.

По данным документации – описания и фотографий керна этих скважин по интервалам глубин, равным 10-12 м, определялся показатель состояния пород RQD (замерялась средняя длина столбиков керна на этом

интервале глубин). По средней длине столбиков керна определялся средний размер блоков пород.

Обобщенные результаты по каждой скважине представлены в табл.2.

Результаты определения среднего размера (длины) столбиков керна и показателя RQD по скважинам приведены в табл.3.

Из табл.3 видно, что наблюдается определенная зависимость между показателями качества породы RQD и средним размером столбиков керна (длиной) или структурных блоков ( $l$ ) для пород (гранодиоритов) рассматриваемого месторождения.

Ориентировочные значения размеров блоков пород, установленные по интервалам глубин для каждой инженерно-геологической скважины, учитывались при определении исходных характеристик прочности пород в массиве при расчетах устойчивости бортов карьеров.

## Выводы

1. Горный массив, сложенный скальными и полускальными породами, ослаблен трещиноватостью. Для определения сцепления пород в массиве, являющегося одной из основных расчетных характеристик прочности при оценке устойчивости бортов карьеров в скальных и полускальных породах, недостаточно лабораторных испытаний образцов пород, необходимы данные по трещиноватости пород, слагающих прибортовой массив, – размер и форма элементарных структурных блоков для перехода от сцепления пород в образце к сцеплению пород в массиве. Расчет сцепления массива производится по приведенной формуле.

2. Трещиноватость пород изучается в естественных и искусственных обнажениях

горных пород; при отсутствии таких обнажений трещиноватость (размер и форму блоков пород) следует прогнозировать, изучая kern скважины.

3. При количественной оценке интенсивности трещиноватости по керну буровых скважин возможно использование показателя состояния качества породы RQD, который представляет собой суммарный выход керна в столбиках высотой более 0,1 м на определенный интервал бурения. Как показали результаты замера высоты столбиков керна по четырем инженерно-геологическим скважинам, наблюдается определенная зависимость между показателем RQD и средним размером (длиной) структурного блока для пород (гранодиоритов) рассматриваемого месторождения. Определение RQD по глубине скважины позволяет выявить состояние массива и соответствующий этому состоянию ориентировочный размер структурного блока.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Введение в механику скальных пород / Под. ред. Х.Бока. М.: Мир, 1983.
2. Джеггер Ч. Механика горных пород и инженерные сооружения. М.: Мир, 1975.
3. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах / ВНИМИ. СПб, 1998.
4. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965.

## REFERENCES

1. An Introduction to Rock Mechanics / Edited by H.Bock. Moscow: Mir, 1983.
2. Jaeger Ch. Rock mechanics and engineering. Moscow: Mir, 1975.
3. Regulations for providing slope stability at coal open-pit mines / VNIMI. Saint Petersburg, 1998.
4. Fisenko G.L. Stability of open-pit slopes and spoil banks. Moscow: Nedra. 1965.