

Б.Р. Ракишев, А.М. Ауэзова, А.Е. Казангапов

СТРУКТУРНО-ИЕРАРХИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

Обосновано понятие о структурно-иерархических моделях массивов пород. По фактическому гранулометрическому составу естественных отдельностей установлены аналитические зависимости их процентного содержания от размеров отдельностей в мелкоблочных, среднеблочных, крупноблочных и весьма крупноблочных массивах пород. Выполнены расчеты гранулометрического состава отдельностей в массиве пород при различных размерах отдельностей (0,1; 0,2; ...; 0,9 м). Создано программное обеспечение для автоматизированного определения гранулометрического состава массива горных пород, включающее модули «Классификация массивов горных пород по блочности» «Регрессионные модели» для массивов различной блочности, «Константы уравнений линий регрессии», «Расчет блочности массива пород». Показаны примеры использования программы для автоматизированного определения характеристик массивов горных пород по блочности.

Ключевые слова: естественные отдельности, размеры отдельности, блочность массива, структурно-иерархическая модель массива пород, гранулометрический состав массива пород, автоматизированные определение грансостава, программное обеспечение.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-128-138

Введение

Опыт разработки месторождений полезных ископаемых показывает, что все они представлены трещиноватыми массивами пород. Последние как правило, состоят из естественных отдельностей разных размеров и имеют вполне определенное структурное строение. На этот факт в числе первых обратили внимание А.Ж. Машанов [1], В.В. Ржевский [2], В.К. Рубцов [3]. Обобщая большой объем фактического материала карьеров Советского Союза, В.К. Рубцов предложил трещиноватость массива пород характеризовать средним расстоянием между трещинами и содержанием крупных отдельностей в массиве. Исходя из работ В.К. Рубцова и др., Межведомственной комиссией по взрывным работам была принята единая классифика-

ция горных пород по степени трещиноватости массивов [4].

В развитие этого направления горной науки Б.Р. Ракишевым на основе обработки многочисленных измерений, проведенных на карьерах черной и цветной металлургии Казахстана предложена классификация массивов горных пород по блочности с указанием процентного содержания естественных отдельностей различных размеров в них [5]. Она приведена в табл. 1.

При проведении исследований принималось во внимание, что массив горных пород состоит из определенного сочетания естественных отдельностей, содержащихся в нем и склеенных между собой природным цементом или разделенных открытыми трещинами определенной длины и ширины. Естествен-

Таблица 1

Классификация массивов горных пород по блочности (трещиноватости) с указанием содержания естественных отдельностей

Классы массивов по блочности	Массивы по блочности (степень трещиноватости)	Содержание в массиве (%) естественных отдельностей размером (м)							Средний диаметр отдельности, м
		<0,20	0,21–0,40	0,41–0,60	0,61–0,80	0,81–1,00	1,01–1,20	>1,21	
I	Мелкоблочные (чрезвычайно трещиноватые)	82,0	10,3	7,0	0,5	0,2	—	—	0,16
II	Среднеблочные (сильнотрещиноватые)	48,0	27,0	10,5	6,0	4,2	3,3	1,0	0,31
III	Крупноблочные (среднетрещиноватые)	29,5	20,2	14,0	11,8	10,6	8,7	5,2	0,50
IV	Весьма крупноблочные (малотрещиноватые)	17,5	16,1	14,6	13,2	12,7	12,9	13,0	0,66

ные отдельности по крупности подразделялись на семь фракций размерами до 0,2 м, в пределах от 0,21 до 0,4, от 0,41 до 0,6, от 0,61 до 0,80, от 0,81 до 1,0, от 1,1 до 1,2 и более 1,21 м. Непосредственными замерах на обнажениях горных выработок определялись суммарные длины или площади отдельностей каждой фракции на выбранных участках горизонтов и устанавливалось процентное содержание каждой фракции. Совокупность процентного содержания всех фракций принималась за гранулометрический состав естественных отдельностей в массиве пород. По установленному грансоставу естественных отдельностей в конкретных массивах вычислялся средний размер отдельности — обобщенная характеристика массива горных пород по блочности.

Для простоты гранулометрический состав естественных отдельностей в массиве пород предложено назвать гранулометрическим составом массива горных пород. По численным параметрам этого показателя массивы пород по блочности подразделены на 4 класса: мелкоблочные, среднеблочные, крупноблочные и весьма крупноблочные. Каждый класс массива по блочности характеризуется

своим средним размером отдельности. Эта характеристика массива пород хорошо коррелирует с данными ряда авторов [6–9].

Аналитическое определение гранулометрического состава массива горных пород

Общеизвестно, что естественные отдельности представляют собой структурные элементы массива пород, соответственно их размеры по крупности до 0,2 м, от 0,21 до 0,40, от 0,41 до 0,6, от 0,61 до 0,8, от 0,81 до 1,0, от 1,1 до 1,2 м и более 1,2 м — иерархические уровни этих элементов. Вследствие этого графическое, а также аналитическое выражение процентного содержания естественных отдельностей различных размеров в массиве будет представлять структурно-иерархическую модель массива горных пород.

Для создания таких моделей процентное содержание естественных отдельностей в массиве пород в зависимости от их размеров нужно представить в графическом виде. Диаграммы, построенные по данным табл. 1. Они изображены на рис. 1, 2 и обозначены цифрой 1. Здесь же приведены линии регрессий

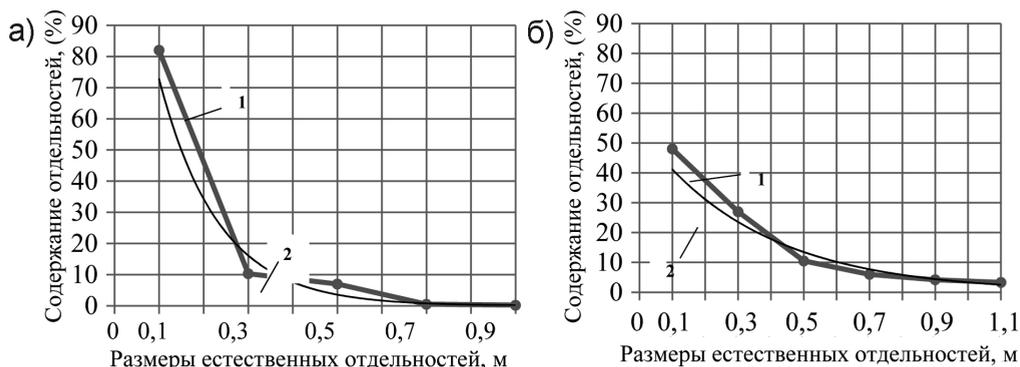


Рис. 1. Зависимости процентного содержания естественных отделистей (1) и линии регрессий (2) для мелкоблочных (а) и среднеблочных массивов (б)

этих зависимостей, которые обозначены цифрой 2.

Уравнения линий регрессии процентного содержания естественных отделистей легко подбираются средствами табличного редактора MS Excel [10–11] по диаграммам, отражающим их зависимость от заданного размера.

Как видно из рис. 1, уравнения регрессий $y = f(x)$ для мелкоблочных и среднеблочных массивов соответственно будут представлены в виде:

$$y = 102,99e^{-6,03x},$$

$$y = 59,325e^{-2,988x}, \quad (1)$$

где x — размер естественной отделисти, y — процентное содержание в массиве данной отделисти, e — основание натурального логарифма.

Уравнения регрессий для крупноблочных и весьма крупноблочных массивов соответственно имеют вид (см. рис. 2):

$$y = 30,587e^{-1,28x},$$

$$y = 17,06e^{-0,26x} \quad (2)$$

Из уравнений (1), (2) следует, что содержание естественных отделистей в массивах пород различной блочности в общем случае изменяется по экспоненциальному закону т.е.:

$$y = ae^{-bx}. \quad (3)$$

Здесь a , b — константы для каждого класса блочности. Их значения из уравнений (1), (2) и коэффициенты детерминации (R^2) для рассмотренных массивов пород сведены в табл. 2.

Часто возникает необходимость решения обратной задачи, т.е. определе-

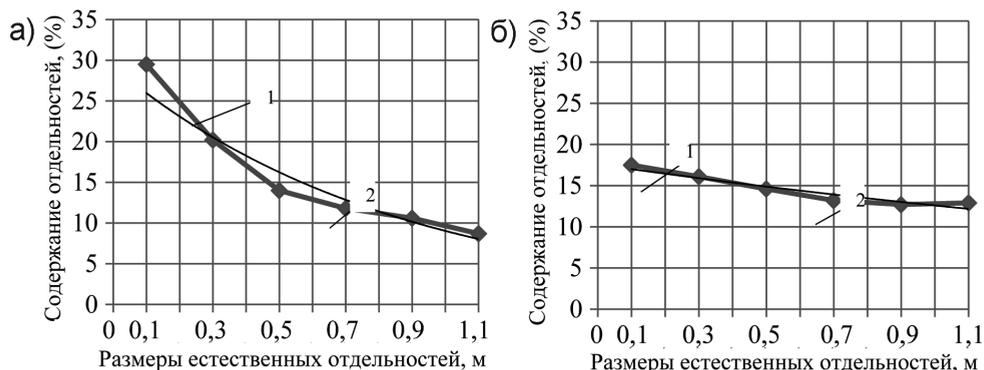


Рис. 2. Зависимости процентного содержания естественных отделистей (1) и линии регрессий (2) для крупноблочных (а) и весьма крупноблочных массивов (б)

Таблица 2

Константы a , b и коэффициенты детерминации R^2

Массивы пород по блочности	Константы		Коэффициент детерминации R^2
	a	b	
Мелкоблочные ($d_e = 0,16$ м)	102,99	6,03	0,93
Среднеблочные ($d_e = 0,30$ м)	59,32	2,99	0,97
Крупноблочные ($d_e = 0,50$ м)	30,58	1,28	0,96
Весьма крупноблочные ($d_e = 0,66$ м)	17,06	0,26	0,82

ния granulометрического состава естественных отдельностей в массиве пород по их среднему размеру, который, как правило, содержится в геологическом отчете проекта разработки конкретного месторождения.

Для решения этой задачи необходимо установить значения постоянных a и b в уравнения (3) в зависимости от заданного произвольного размера естественной отдельности в пределах от 0,1 до 0,9 м (большой размер не имеет места на практике горных предприятий). Поскольку этот интервал размеров охвачен данными табл. 2, нужно построить графики зависимостей постоянных a , b от d_e по данным табл. 2. Они графически представлены на рис. 3.

По диаграммам, приведенным на рис. 3, посредством табличного редакто-

ра MS Excel найдены уравнения значений коэффициентов a , b от среднего размеров естественной отдельности в виде:

$$a = c e^{-kx}, \quad b = l \ln x + f, \quad (4)$$

где x — размер естественной отдельности; c , k , l , f — некоторые постоянные.

В рассматриваемом конкретном случае коэффициент a описывается уравнением, изменяющимся по экспоненциальному закону:

$$a = 183,28e^{-3,595x}, \quad (5)$$

коэффициент b — уравнением, изменяющимся по логарифмическому закону:

$$b = -3,576 \ln(x) - 0,8842. \quad (6)$$

В целях проверки правомерности уравнений (4), (5) и (6) выполнен расчет процентного содержания естественных отдельностей в массиве по формуле (3) с подстановкой в нее найденных значений a и b из выражений (5) и (6). Эти

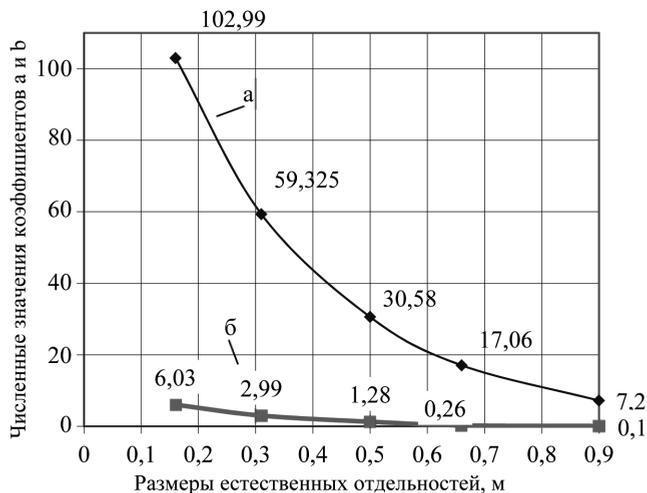
Рис. 3. Зависимости постоянных a и b от средних размеров естественных отдельностей

Таблица 3

Расчетный грансостав массивов горных пород

Классы массивов по блочности	Массивы по блочности (средний диаметр отдельности, м)	Содержание в массиве (%) естественных отдельностей размером (м)						
		<0,20	0,21-0,40	0,41-0,60	0,61-0,80	0,81-0,100	1,01-1,20	>1,21
I	Мелкоблочные ($d_e = 0,16$ м)	67,84	21,83	7,03	2,26	0,73	0,23	0,08
II	Среднеблочные ($d_e = 0,31$ м)	48,83	25,22	13,02	6,73	3,47	1,79	0,93
III	Крупноблочные ($d_e = 0,50$ м)	30,59	22,23	16,16	11,75	8,54	6,21	4,51
IV	Весьма крупноблочные ($d_e = 0,66$ м)	19,92	17,66	15,66	13,88	12,31	10,91	9,67

данные для всех классов массивов по блочности приведены в табл. 3.

Сопоставление данных табл. 1 и 3 показывает, что расчетный гранулометрически состав массива пород близко совпадает с экспериментально установленным гранулометрическим составом естественных отдельностей в массиве пород. Это подтверждает пригодность полученных аналитических зависимостей для использования в практической деятельности. Такой вывод дает также основание распространить полученные результаты на массивы пород с другими любыми размерами естественных отдельностей, например, в пределах от 0,1 до 0,9 м. Для реализации таких намере-

ний предварительно нужно найти значения постоянных a и b для рассматриваемого размера естественной отдельности по формулам (5) и (6). Выполненные расчеты показывают, что:

- при $d_e = 0,1$ м $a = 127,33$; $b = 7,35$;
- при $d_e = 0,2$ м $a = 89,94$; $b = 4,87$;
- при $d_e = 0,3$ м $a = 62,13$; $b = 3,42$;
- при $d_e = 0,4$ м $a = 43,4$; $b = 2,39$;
- при $d_e = 0,5$ м $a = 30,31$; $b = 1,59$;
- при $d_e = 0,6$ м $a = 21,17$; $b = 0,94$;
- при $d_e = 0,7$ м $a = 14,79$; $b = 0,39$;
- при $d_e = 0,8$ м $a = 10,33$; $b = -0,09$;
- при $d_e = 0,9$ м $a = 7,22$; $b = -0,51$.

Расчетное процентное содержание естественных отдельностей указанных размеров в массиве пород по формуле

Таблица 4

Расчетное содержание естественных отдельностей фиксированных размеров в массивах пород

Классы массивов по блочности	Массивы по блочности (средний диаметр отдельности, м)	Содержание в массиве (%) отдельностей размером (м)						
		<0,20	0,21-0,40	0,41-0,60	0,61-0,80	0,81-1,00	1,01-1,20	>1,21
I	Мелкоблочные ($d_e = 0,1$ м, $d_e = 0,2$ м)	77,01	17,71	4,07	0,94	0,22	0,05	0,01
		62,32	23,52	8,88	3,35	1,27	0,48	0,18
II	Среднеблочные ($d_e = 0,3$ м, $d_e = 0,4$ м)	49,97	25,21	12,72	6,42	3,24	1,63	0,82
		39,41	24,42	15,14	9,38	5,81	3,6	2,23
III	Крупноблочные ($d_e = 0,5$ м, $d_e = 0,6$ м)	30,59	22,23	16,16	11,75	8,54	6,21	4,51
		23,45	19,42	16,08	13,32	11,03	9,14	7,57
IV	Весьма крупноблочные ($d_e = 0,7$ м, $d_e = 0,8$ м)	17,85	16,5	15,26	14,11	13,05	12,07	11,16
		13,56	13,79	14,03	14,28	14,53	14,78	15,04

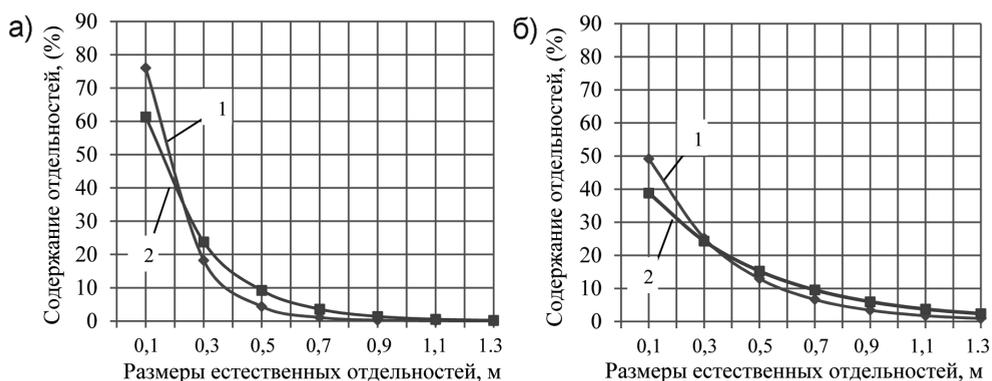


Рис. 4. Процентное содержание естественных отдельностей в мелкоблочных (а) (1 – $d_e = 0,1$ м, 2 – $d_e = 0,2$ м) и среднеблочных (б) массивах (1 – $d_e = 0,3$ м, 2 – $d_e = 0,4$ м)

(3) с использованием найденных значений а и в приведено в табл. 4.

Из данных табл. 3 и 4 видно, что мелкоблочные массивы пород состоят из естественных отдельностей со средним размером 0,1–0,2 м, среднеблочные массивы – из естественных отдельностей со средним размером 0,5–0,6 м, а весьма крупноблочные массивы – из естественных отдельностей со средним размером 0,7–0,8 м. Эти характеристики блочности массивов пород хорошо согласуются с данными ряда авторов [7–9].

Для наглядного представления данные табл. 4 графически изображены на рис. 4 и 5. На рис. 4 представлены зависимости процентного содержания естественных отдельностей в мелкоблочных массивах со средними диаметрами $d_e =$

$0,1$ м; $d_e = 0,2$ м (рис. 4, а) и в среднеблочных массивах со средними диаметрами $d_e = 0,3$ м; $d_e = 0,4$ м (рис. 4, б).

Приведенные на рис. 5 зависимости представляют характеристики крупноблочных массивов со средним диаметром $d_e = 0,5$ м; $d_e = 0,6$ м (рис. 5, а) и весьма крупноблочных массивов со средними диаметрами $d_e = 0,7$ м; $d_e = 0,8$ м (рис. 5, б).

Как видно, графики зависимостей, приведенные на рис. 4, 5 идентичны графикам, представленным на рис. 1, 2. Это свидетельствует о правомерности проведенных расчетов и применимости уравнения (3) для аналитического определения гранулометрического состава естественных отдельностей в массивах горных пород любых размеров.

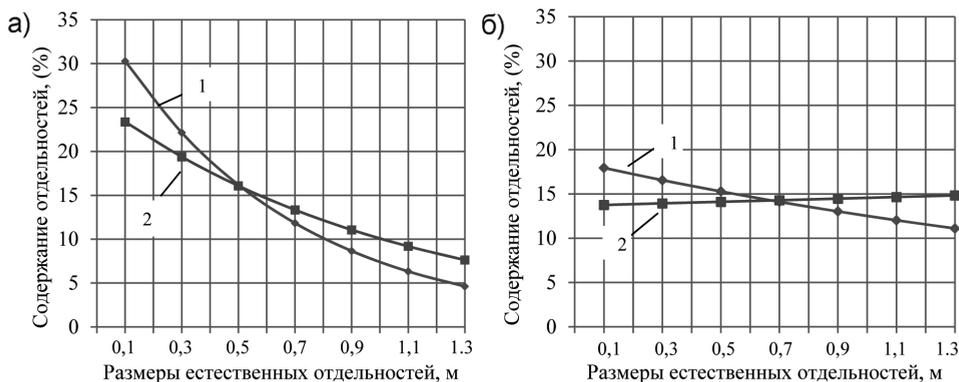


Рис. 5. Процентное содержание естественных отдельностей в крупноблочных (а) (1 – $d_e = 0,5$ м; 2 – $d_e = 0,6$ м) и в весьма крупноблочных (б) массивах (1 – $d_e = 0,7$ м; 2 – $d_e = 0,8$ м)

Таким образом, из проведенных исследований следует, что по среднему размеру естественной отдельности можно установить значения постоянных a и b для рассматриваемых массивов пород. Затем с использованием этих данных по зависимости (3) рассчитать процентное содержание естественных отдельностей в массиве горных пород. Эта характеристика массива горных пород очень важна для проектирования параметров технологических процессов горных работ, особенно для прогнозирования гранулометрического состава взорванных горных пород. Об актуальности и востребованности работ такого рода отмечено в работах [12–15].

Программное обеспечение автоматизированного определения гранулометрического состава массива горных пород

Разработанная программа включает комплекс программных средств для организации и проведения автоматизированных расчетов, обработки и представления измеренной информации, сохранения результатов измерений в базе данных, генерации результатов исследований. Базой программы является созданная корневая папка, приведенная на рис. 6.

Использование программы для определения блочности массива пород при произвольно заданных значениях естественных отдельностей в массиве пород показано на рис. 7.

На рис. 8 приведен пример использования программы для определения гранулометрического состава естественных отдельностей в массиве пород, коэффициентов a и b , блочности массива пород при произвольно заданных значениях d_e .

Программное обеспечение устанавливается на компьютеры или на мобильные телефоны. Приведенный пакет решает следующие задачи:

- расчет данных в режиме реального времени;
- обработка информации в реальном времени;
- логическое управление;
- отображение информации на экране монитора в удобной и понятной для пользователя форме;
- ведение базы данных реального времени с технологической информацией.

Разработанная программа позволяет оперативно рассчитать основные характеристики массивов пород по блочности в конкретных производственных условиях, она наглядна, удобна в использовании и имеет несложный интерфейс.

Имени	Дата изменения	Тип	Размера
Microsoft.mshtml.dll	16.12.2017 2:14	Расширение при...	7 845 КБ
Model	26.12.2017 20:30	Приложение	157 КБ
Model.exe.config	23.12.2017 1:26	XML-файл конфи...	1 КБ
Model.pdb	26.12.2017 20:30	База данных отла...	32 КБ
result_teor	26.12.2017 19:48	Foxit Reader PDF ...	57 КБ
result1	24.12.2017 21:31	Foxit Reader PDF ...	26 КБ
Sample_teor	26.12.2017 19:48	Лист Microsoft Ex...	13 КБ
Sample1	26.12.2017 19:26	Лист Microsoft Ex...	8 КБ
Spire.Common.dll	10.03.2016 10:56	Расширение при...	119 КБ
Spire.Common	04.06.2014 18:13	Документ XML	5 КБ
Spire.License.dll	14.08.2015 9:27	Расширение при...	55 КБ
Spire.Pdf.dll	10.03.2016 10:56	Расширение при...	12 508 КБ
Spire.Pdf	09.03.2016 14:21	Документ XML	1 095 КБ
Spire.XLS.dll	10.03.2016 10:56	Расширение при...	18 552 КБ
Spire.XLS	09.03.2016 14:21	Документ XML	836 КБ

Рис. 6. Корневая папка «Определение грансостава массива горных пород»



Рис. 7. Определение блочности массивов пород при произвольно заданных значениях отдельных в массиве пород

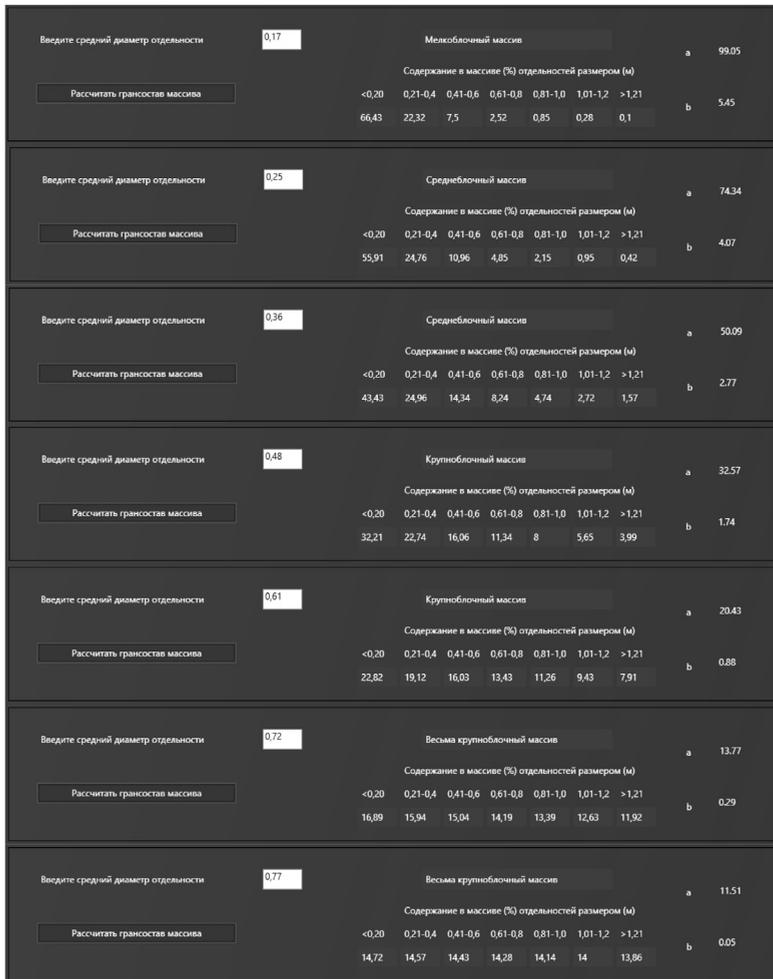


Рис. 8. Расчет грансостава массива в зависимости от среднего размера отдельности

Выводы

1. Обосновано понятие о структурно-иерархических моделях массивов горных пород. По фактическому гранулометрическому составу естественных отдельностей установлены аналитические зависимости их процентного содержания от размеров отдельностей в мелкоблочных, среднеблочных, крупноблочных и весьма крупноблочных массивах пород. Они изменяются по экспоненциальному закону. Выбраны уравнения для определения постоянных коэффициентов указанных зависимостей.

2. Предложенная структурно-иерархическая модель позволяет определить расчетный гранулометрический состав естественных отдельностей в массивах пород различной блочности. Выполнены расчеты гранулометрического состава отдельностей в массиве пород при различных размерах (0,1; 0,2; ...; 0,9 м).

3. Создано программное обеспечение для автоматизированного определения гранулометрического состава мас-

сива пород, включающее модули «Классификация массивов горных пород по блочности», «Регрессионные модели» для массивов различной блочности, «Константы уравнений линий регрессии», «Расчет блочности массива пород».

4. Показаны примеры использования программы для автоматизированного определения основных характеристик массивов пород по блочности, в частности «Определение блочности пород при произвольно заданных значениях процентного содержания отдельностей в массиве пород» и «Расчет грансостава массива в зависимости от различного среднего размера отдельности».

5. Полученные результаты отражают реальное положение дел на практике и подтверждают пригодность предложенной методики для автоматизированного определения гранулометрического состава естественных отдельностей в массиве пород. Они будут использованы для определения гранулометрического состава взорванной горной массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машанов А. Ж. Механика массива горных пород. — Алма-Ата, 1961. — 210 с.
2. Ржевский В. В. Процессы открытых горных работ. — М.: Недра, 1985. — 549 с.
3. Кутузов Б. Н., Рубцов В. К. Физика взрывного разрушения горных пород. — М., 1970. — 177 с.
4. Кутузов Б. Н. Методы ведения взрывных работ. Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом: Учебник для вузов. — М.: Изд-во «Горная книга», 2007. — 471 с.
5. Ракишев Б. Р. Прогнозирование технологических параметров взорванных пород на карьерах. — Алма-Ата: Наука, 1983. — 240 с.
6. Трубецкой К. Н., Викторов С. Д., Закалинский В. М., Осокин А. А. Крупномасштабное взрывное разрушение массивов горных пород: состояние и перспективы применения // Горный журнал. — 2016. — № 10. — С. 64–68.
7. Викторов С. Д., Закалинский В. М., Кочанов А. Н. К вопросу о классификации горных пород по сопротивляемости взрывному разрушению // Взрывное дело. — 2014. — № 111/68. — С. 70–78.
8. Казаков Н. Н., Лапиков И. Н., Шляпин А. В. Категория взрываемости горных пород // Взрывное дело. — 2014. — № 111/68. — С. 49–60.
9. Rakishev B. R., Auezova A. M., Rakisheva Z. B. The specification of granulometric composition of natural jointing in the rock massif by their average size / Proceedings of the 9th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction. Beijing, China, 2014, pp. 274–282.
10. Джон Уокенбах. Excel 2013. Библия пользователя — М.: Вильямс, 2017. — 928 с.
11. Тепляков С. Паттерны проектирования на платформе .NET. — Санкт-Петербург: Питер, 2016. — 316 с.

12. Jichun Zhang. Research on the fragment-size model for blasting in jointed rock mass. Balkena: Rotterdam. 1996. Pp. 19–24.
13. Mishnaevskyn L. L. Informational model of rock destruction and the principle of minin tool improvement. E&FN Spon. London. 1993. Pp. 393–398.
14. Maryska J., Severyn O. Hidrogeological processes in a compact rock massif — a new approach to the numerical modeling. Taylor & Francis Group. London. 2004, Pp. 381–388.
15. Petrosyan M. Rock Breakage by Blasting. CRC press. 1994. Pp. 5–77. **VIAS**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ракишев Баян Ракишевич¹ — академик НАН РК,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой,
e-mail: b.rakishev@mail.ru,

Ауэзова Алма Мухамбетжановна¹ — кандидат технических наук,
старший преподаватель,

Казангапов Адиль Енсебаевич¹,

¹ Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 4, pp. 128–138.

B.R. Rakishev, A.M. Auezova, A.E. Kazangapov

HIERARCHICAL ROCK MASS STRUCTURE MODELS

The conception of hierarchical structure models of rock mass is substantiated. By factual data on size distribution of natural joints, the analytic dependences between the percentage composition and sizes of joints are determined for small-, medium-, coarse- and very coarse block rock masses. The size distribution of joints in rock mass is calculated for joints of varied sizes (0.1, 0.2, .., 0.9 m). The programming support designed for the automated determination of size distribution in rocks includes such modules as «Rock mass classification by block sizes,» «Regression models for rock masses with different block sizes,» «Constants of equations of linear regression,» «Calculation of block sizes in rock mass.» The application of the program in automated determination of block sizes in rock mass is described.

Key words: natural joints, sizes of joints, block size, hierarchical structure of rock mass, size distribution, automated determination of size distribution, programming support.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-128-138

AUTHORS

Rakishev B.R.¹, Academician of National Academy of Sciences of Kazakhstan,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair,
e-mail: b.rakishev@mail.ru,

Auezova A.M.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer,
Kazangapov A.E.¹,

¹ Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev,
050013, Almaty, Kazakhstan.

REFERENCES

1. Mashanov A.Zh. *Mekhanika massiva gornyykh porod* (Mechanics of rock mass), Alma-Ata, 1961, 210 p.
2. Rzhveskiy V.V. *Protsessy otkrytykh gornyykh rabot* (Processes in open pit mining), Moscow, Nedra, 1985, 549 p.

3. Kutuzov B. N., Rubtsov V. K. *Fizika vzryvnogo razrusheniya gornyykh porod* (Physics of explosive rupture of rocks), Moscow, 1970, 177 p.
4. Kutuzov B. N. *Metody vedeniya vzryvnykh rabot*. Ch. 1. Razrushenie gornyykh porod vzryvom: Uchebnyk dlya vuzov (Blasting methods. Part 1. Fracture of rocks by blasting: Textbook for high schools), Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2007, 471 p.
5. Rakishev B. R. *Prognozirovaniye tekhnologicheskikh parametrov vzorvannykh porod na kar'erakh* (Prediction of process characteristics of blasted rocks at open pit mines), Alma-Ata, Nauka, 1983, 240 p.
6. Trubetskiy K. N., Viktorov S. D., Zakalinskiy V. M., Osokin A. A. *Gornyy zhurnal*. 2016, no 10, pp. 64–68.
7. Viktorov S. D., Zakalinskiy V. M., Kochanov A. N. *Vzryvnoe delo*. 2014, no 111/68, pp. 70–78.
8. Kazakov N. N., Lapikov I. N., Shlyapin A. V. *Vzryvnoe delo*. 2014, no 111/68, pp. 49–60.
9. Rakishev B. R., Auezova A. M., Rakisheva Z. B. The specification of granulometric composition of natural jointing in the rock massif by their average size. *Proceedings of the 9th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction*. Beijing, China, 2014, pp. 274–282.
10. Dzhon Uokenbakh. *Excel 2013. Bibliya pol'zovatelya* (Excel 2013. The Bible user), Moscow, Vil'yams, 2017, 928 p.
11. Teplyakov S. *Patterny proektirovaniya na platforme .NET* (Patterns of designing on .NET platform), Saint-Petersburg, Piter, 2016, 316 p.
12. Jichun Zhang. *Research on the fragment-size model for blasting in jointed rock mass*. Balkena: Rotterdam. 1996. Pp. 19–24.
13. Mishnaevskyn L. L. *Informational model of rock destruction and the principle of minin tool improvement*. E&FN Spon. London. 1993. Pp. 393–398.
14. Maryska J., Severyn O. *Hidrogeological processes in a compact rock massif a new approach to the numerical modeling*. Taylor & Francis Group. London. 2004, Pp. 381–388.
15. Petrosyan M. *Rock Breakage by Blasting*. CRC press. 1994. Pp. 5–77.

FIGURES

- Fig. 1. Curves of percentage composition of natural joints (1) and lines of regression (2) for small-size (a) and medium-size (b) block rock mass.
- Fig. 2. Curves of percentage composition of natural joints (1) and lines of regression (2) for coarse (a) and very coarse (b) block rock mass.
- Fig. 3. Relationship between the constants a and b and the average sizes of natural joints.
- Fig. 4. Percentage composition of natural joints in small-size (a) ($1 - d_e = 0.1$ m, $2 - d_e = 0.2$ m) and medium-size (b) ($1 - d_e = 0.3$ m, $2 - d_e = 0.4$ m) block rock mass.
- Fig. 5. Percentage composition of natural joints in coarse (a) ($1 - d_e = 0.5$ m, $2 - d_e = 0.6$ m) and very coarse (b) ($1 - d_e = 0.7$ m, $2 - d_e = 0.8$ m) block rock mass.
- Fig. 6. Root folder «Determination of size distribution in rock mass».
- Fig. 7. Determination of block sizes in rock mass at the arbitrarily set values of jointing.
- Fig. 8. Calculation of size distribution as function of average joint size in rock mass.

TABLES

- Table 1. Rock mass classification with respect to block sizes (jointing), with specification of content of natural joints.
- Table 2. Constants a and b and determination coefficients R^2 .
- Table 3. Calculated size distribution in rock mass.
- Table 4. Calculated content of natural joints of specified size in rock mass.

