

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА СДВИГ НА МОДЕЛЯХ ИЗ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Л.А. Манукян, Г.Г. Казарян, А.А. Казарян, Г.З. Цатрян

ЗАО "Лернаметалургияи институт"

Приведены результаты модельных исследований для установления закономерностей изменения сопротивляемости изготовленных из эквивалентных материалов различных структурных блоков неправильной формы на сдвиг в специально сконструированных срезных матрицах. Модели представляют собой структурные призмы, составленные из отдельных слоев, изготовленных из гипсовых и гипсопесчаных смесей разной прочности и с различной структурной характеристикой. На основании анализа полученных результатов выведена формула для определения коэффициента структурного ослабления испытанных моделей. Результаты исследований могут быть использованы также при проектировании бортов карьеров в случае отсутствия специальных натурных исследований механических свойств горных пород.

Ключевые слова: сцепление, физическое моделирование, эквивалентный материал, структурный блок, сдвиг, прочность, коэффициент структурного ослабления.

Введение. Отсутствие достаточно точных методов определения прочностных характеристик массива скальных горных пород различной структуры часто вызывает ошибки при определении величины сцепления, что, в свою очередь, приводит к неточному установлению параметров бортов карьеров, обеспечивающих их устойчивость.

Для оценки сопротивляемости массива горных пород с учетом его структурных особенностей в настоящее время известны различные методы. Первая группа методов предусматривает изучение прочностных показателей массива горных пород путем проведения натурных испытаний породных призм больших размеров. Вторая группа ставит себе целью решение этой задачи методом моделирования на структурных моделях из эквивалентных материалов. Оба направления, безусловно, имеют свои достоинства и недостатки.

Исследование данного вопроса в натурных условиях при площади среза до 1 м^2 не всегда может характеризовать массив с достаточной для практических целей точностью. Во многих случаях проведение этих испытаний или очень затруднительно, или практически неосуществимо.

На этапе проектирования горных предприятий и их структурных элементов полезными могут быть эмпирические формулы, связывающие прочность образца с прочностью пород в массиве. Достаточно полный обзор работ этого направления выполнен в [1].

Решению горно-технической задачи по определению коэффициента структурного ослабления горных пород методами моделирования посвящены работы М.М. Протодяконова, М.И. Койфмана и С.Б. Чиркова [2], М.В. Раца [3], Г.Л. Фисенко [4], Д.Н. Кима [5], Г.Т. Рубца [6], Ю.И. Мартынова [7], В.Т. Глушко [8] и др.

В США и ряде других стран широко применяется методика оценки трещиноватости горных пород по показателю качества породы RQD (Rock Quality Designation). На основе показателя качества RQD составлены графики, таблицы, определяющие характер условий проведения выработок, тип и стоимость крепления [9].

В отличие от показателя RQD, методы Дири и Хансаги [10, 11], незначительно отличаясь друг от друга, позволяют определить коэффициент структурного ослабления, учитывая при этом число образцов, диаметр и длину керна. Заметим, что и метод RQD, и методы Хансаги и Дири не имеют под собой никакого аналитического обоснования.

Метод моделирования - весьма перспективное направление в практике исследований горного массива и позволяет оценить сопротивляемость массива горных пород к различным видам деформаций и, в первую очередь, к сдвигу с учетом качественных и количественных особенностей его структуры.

Постановка задачи и методы исследования. В данной статье физическим моделированием из эквивалентных материалов выявлены некоторые закономерности изменения сопротивляемости различных структурных блоков неправильной формы на сдвиг в зависимости от физико-механических свойств блоков монолита (образца).

Отличие выполненных нами исследований от проведенных ранее другими авторами заключается в производстве модельных исследований не на структурных призмах, сложенных блоками правильной формы, а на моделях, сложенных блоками неправильной формы, что в наибольшей степени характеризует естественный массив горных пород.

Существующие методы перехода от прочностных свойств пород в образце к прочностным свойствам трещиноватого массива несовершенны и противоречивы. Ряд исследователей, основываясь на результатах натурных испытаний, считают, что прочностные свойства массива, сложенного трещиноватыми породами, определяются отношением высоты борта (H) к размеру структурного блока (l). На основании этого был сделан вывод, что направленность трещиноватости оказывает влияние на прочностные свойства массива лишь до тех пор, пока отношение H/l не достигает некоторого критического значения, которое по Г.Л. Фисенко составляет 80, а по Ю.И. Мартинову - 40.

Результаты исследования. С целью изучения влияния отношения H/l , а также направленности и интенсивности трещиноватости на коэффициент структурного ослабления нами были проведены испытания структурных моделей из эквивалентных материалов с отношением H/l в пределах 7...75.

Модели представляли собой структурные призмы неправильной формы, составленные из отдельных слоев, изготовленных из гипсовых и гипсопесчаных смесей.

Размеры модели составляли: высота - 60 см, длина - 50 см, ширина - 16 см. Направленный срез структурных моделей производили при помощи специально сконструированного стенда, в верхней части которого был вмонтирован домкрат, создающий усилие до 5 т. На рис. 1 показан направленный срез структурной модели, состоящей из блоков неправильной формы. Общий угол среза моделей составил $54...62^{\circ}$.



Рис. 1. Направленный срез структурной модели, состоящей из блоков неправильной формы

В различных сериях экспериментов были приняты следующие соотношения гипсопесчаных смесей: Г : П = 1 : 1; 1 : 4 и 1 : 0. Гипсопесчаные модели изготавливались в специальных формах в виде рамок различной высоты и размеров, куда заливался раствор, после чего специальными ножами насекались трещины и в результате создавались слои, имеющие структуру определенной направленности и интенсивности. Высота слоя принималась равной среднему размеру блока 1. Насечкой создавались как вертикальные трещины, как и наклонные под углами 30 и 45° . Во всех случаях отдельные структурные блоки не имели правильную форму, но средний их размер всегда соответствовал среднему размеру 1. После высыхания отдельных слоев путем их укладки друг на друга собиралась модель желаемой высоты. Одновременно из этого же раствора с целью определения прочности смесей эквивалентного материала

изготавливались кубические образцы размерами 4,5×4,5×4,5 см для одноосного сжатия и определения прочностных характеристик.

Определение угла внутреннего трения по контактам трещин проводилось на рычажном срезном приборе ГП-30, на котором нормальные и касательные напряжения создаются независимо. В результате этих опытов были построены графики $\tau = f(\sigma)$, по которым определялись углы ρ (рис. 2).

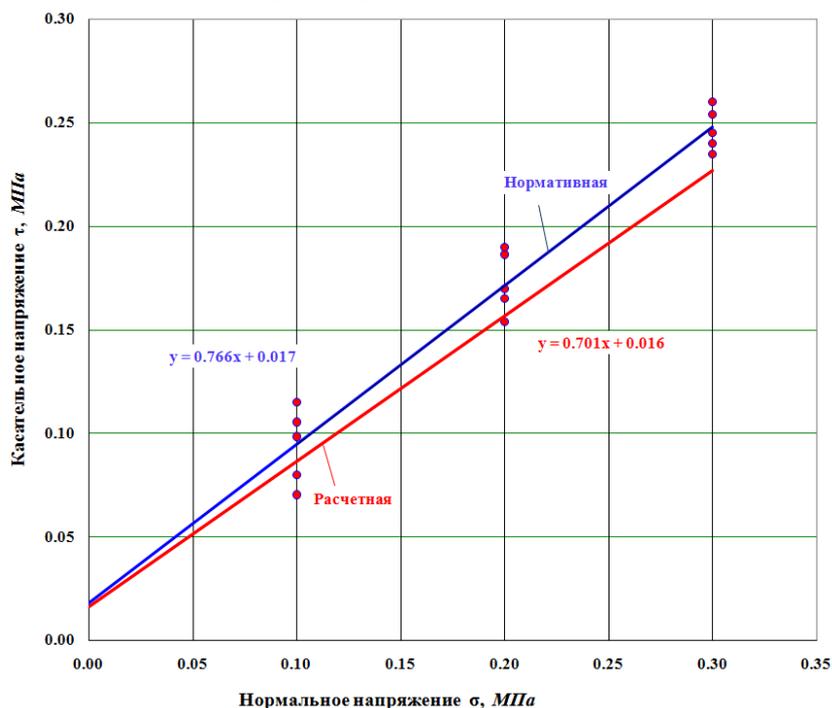


Рис. 2. Определение расчетных характеристик смеси эквивалентного материала

Средние значения прочностных показателей эквивалентных материалов, принятых при моделировании, приведены в табл. 1

Таблица 1

Средние значения прочностных показателей эквивалентных материалов

Соотношение Г:П в эквивалентном материале	Прочность на одноосное сжатие, МПа	Угол внутреннего трения по контакту сдвига ρ , град	Сцепление монолитных образцов, МПа
1:0	7,0	31	1,98
1:1	3,0	33	0,82
1:4	1,1	35	0,29

В выполненных нами экспериментах отношение H/l принималось равным 7, 14, 22, 43, 60 и 75. Изменение соотношений H/l достигалось изменением как величины структурных блоков, так и высоты борта карьера.

Лабораторные испытания моделей, сложенных из структурных блоков различных размеров, позволили получить коэффициент структурного ослабления λ как отношение сцепления массива (срезанной призмы) к сцеплению в куске $\lambda = K_M/K_K$.

Сцепление массива срезанной призмы модели определялось по формуле

$$K = \frac{P \cdot \sin(\alpha - \rho)}{\cos \rho},$$

где P - напряжение на наклонной поверхности обрушения; ρ - угол внутреннего трения эквивалентного материала; α - угол обрушения модели.

Первоначально нами изучалось влияние направленности трещиноватости на величину λ . Наиболее подробно это влияние изучалось при проведении экспериментов на смеси Г: П = 1 : 1. Структурные модели состояли из слоев, на которых были насечены трещины под углами 30, 45 и 90° так, чтобы иметь структурные блоки неправильной формы размеров от 0,9 до 6 см. При таком способе изготовления моделей имеем структурные призмы, в наибольшей степени характеризующие массив. Результаты экспериментов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экспериментов модельных исследований

№№ пп.	Размер блока, см		Направ- ление трещин, град.	Предел прочнос- ти кубиков, σ , МПа	Сцеп- ление кубика $K_{куб}$, МПа	Сцеп- ление в моде- ли, $K_{мод}$, МПа	Отноше- ние высоты борта к среднему размеру блока, H/l	Кэф. структур- ного ослабле- ния, λ
	струк- турного, l	длина срезан- ной поверх- ности, L						
1	6×6×6	43	90	7,0	1,98	0,791	7	0,40
2	3×3×3	43	90	7,0	1,98	0,574	14	0,29
3	2×2×2	43	90	7,0	1,98	0,535	22	0,27
4	2×1×1	43	90	7,0	1,98	0,515	30	0,26
5	2×1×1	43	90	7,0	1,98	0,475	33	0,24
6	1×1×1	43	90	7,0	1,98	0,475	43	0,24
7	1×1×1	43	90	7,0	1,98	0,395	43	0,20
8	0,9×0,9×0,9	68	90	7,0	1,98	0,376	75	0,19

По материалам табл. 2 для различных серий экспериментов построены графики зависимости $\lambda = f(H/l)$ (рис. 3). Из рисунка видно, что при изменении соотношения H/l в пределах 7...75 происходит закономерное уменьшение коэффициента λ от 0,40 до 0,19. Наблюдается, что при увеличении H/l разность в величинах λ различных серий экспериментов уменьшается.

При $H/l < 10$ большое влияние на коэффициент λ оказывает система расположения трещин. При насечке трещин может получиться, что в нескольких слоях они расположены близко к поверхности обрушения. В этом случае последняя огибает их, вследствие чего сопротивляемость сдвигу резко падает.

Коэффициент детерминации найденного уравнения кривой $R^2 = 0,941$ свидетельствует о достоверности и точности установления коэффициента структурного ослабления методом моделирования.

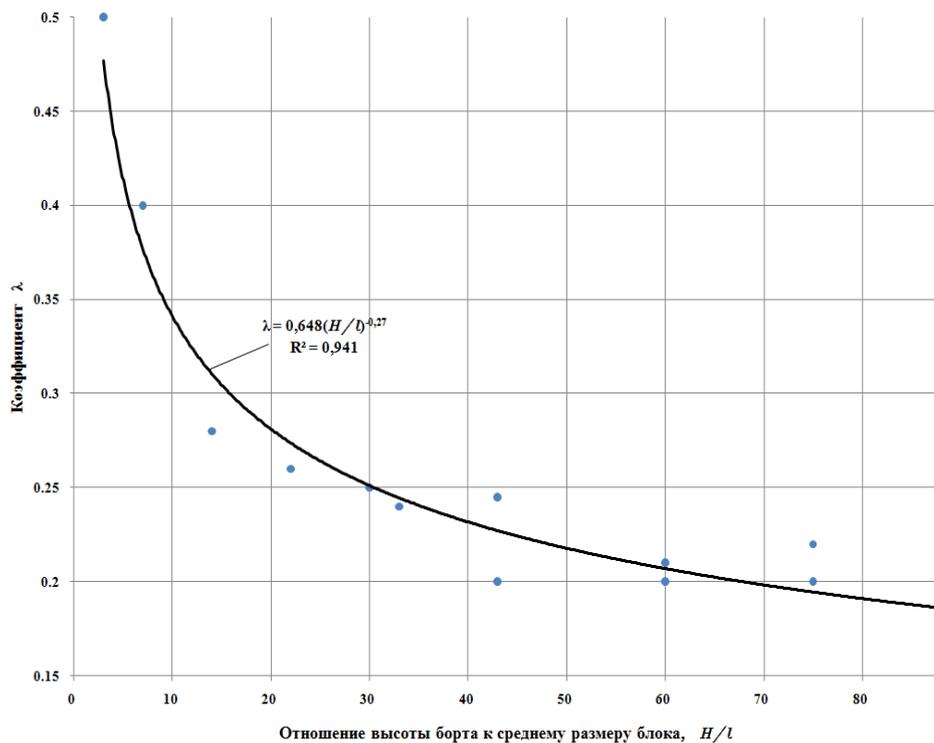


Рис. 3. Изменение коэффициента структурного ослабления λ в зависимости от H/l

На основании полученного уравнения кривой для разных значений высоты борта карьера возможно рассчитать коэффициенты структурного ослабления (λ) массива и определить сцепление слагающих борт карьера горных пород в натуральных условиях.

Выводы

1. Характерной особенностью выполненных исследований является производство модельных испытаний на структурных призмах, сложенных блоками неправильной формы, что наиболее полно характеризует реальный массив горных пород.

2. Полученную лабораторными модельными испытаниями эмпирическую формулу рекомендуется использовать для определения коэффициента структурного ослабления горных пород в натуральных условиях.

Литература

1. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В. Матвеев, Г.В. Михеев и др.– М.: Недра, 1979.– 269 с.
2. Протодяконов М.М., Чирков С.Б. Трещиноватость и прочность горных пород в массиве.– М.: Недра, 1964.– 67 с.
3. Рац М.В. Структурные модели в инженерной геологии.– М.: Недра, 1973.– 216 с.
4. Фисенко Г.Л. Методы количественной оценки структурных ослаблений в связи с анализом их устойчивости // Современные проблемы механики горных пород.– Л.: Наука, 1972.– С. 21-29.
5. Ким Д.Н. Влияние структуры на сдвиговую прочность массива // Тр. ВНИМИ.– 1969.– Сб. 72.– С. 568-585.
6. Рубец Г.Т. Статистическая оценка экстремальных значений прочности и нагрузки // Механика и разрушение горных пород.– Киев: Наукова думка, 1977.– С.11-15.
7. Мартынов Ю.И. Вероятностный метод определения прочности трещиноватого массива // Технология добычи угля подземным способом.– Киев: Наукова думка, 1968.– № 5.– С. 59-62.
8. Методические рекомендации по оценке масштабного фактора прочности горных пород вероятностно-статистическими методами / В.Т. Глушко, В.Г. Борисенко, Н.В. Хижняк и др.– Кривой Рог: Изд-во НИГРИ, 1977.– 36 с.
9. Определение расчетного коэффициента крепости породы в массиве / Н.И. Глодковская и др. // Гидротехническое строительство.– 1977.– №1.– С. 49-51.
10. Deere D.U. Technical description of rock cores for engineering purposes // Rock Mec.eng.Geol.– 1963.– V.1.– P. 18-22.
11. Hansagi L. A method of determining the degree of fissuration of rock // Int. S. Rock. Mech. Sci.– 1974.– V.11.– P. 379-388.

Поступила в редакцию 08.02.2017.

Принята к опубликованию 14.04.2017.

ԼԵՆՆԱՅԻՆ ԱՊԱՐԱՅԻՆ ԶԱՆԳՎԱԾԻ՝ ՍԱՀՔԻ ՆԿԱՏԱՄԱՄԲ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ՇԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՀԱՄԱՐԺԵՔ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՄՈԴԵԼՆԵՐՈՎ

Լ.Ա. Մանուկյան, Գ.Հ. Ղազարյան, Ա.Ա. Ղազարյան, Հ.Ջ. Ծատրյան

Ներկայացված են մոդելային հետազոտությունների արդյունքները՝ համարժեք նյութերից պատրաստված անկանոն ձևի կառուցվածքային բլոկների՝ սահքի նկատմամբ դիմադրողականության փոփոխության օրինաչափությունների որոշման համար: Մոդելավորման ընթացքում փորձարկվել են գիպսից և գիպս-ավազային խառնուրդներից պատրաստված տարբեր ամրությամբ և կառուցվածքային տարբեր բնութագրիչներով առանձին շերտերից հավաքված կառուցվածքային պրիզմաներ: Փորձնական արդյունքների վերլուծության հիման վրա մշակվել է բանաձև՝ մոդելների կառուցվածքային թուլացման գործակցի որոշման համար: Հետազոտության արդյունքները կարելի է օգտագործել նաև բացահանքերի կողերի նախագծման ժամանակ ապարների մեխանիկական հատկությունների որոշման համար հատուկ բնական փորձարկումների բացակայության դեպքում:

Առանցքային բառեր. կապակցվածություն, ֆիզիկական մոդելավորում, համարժեք նյութ, կառուցվածքային բլոկ, սահք, ամրություն, կառուցվածքային թուլացման գործակից:

INVESTIGATING THE ROCK MASS RESISTANCE TO THE SHIFT ON THE MODELS MADE OF EQUIVALENT MATERIALS

L.A. Manukyan, G.G. Ghazaryan, A.A. Ghazaryan, G.Z. Tsatryan

The results of model studies for determining the regularities of the resistance change of various equivalent material structural blocks of irregular shape on the shift in a specially designed shear matrices are introduced. The models are structural prisms composed of separate layers made of gypsum and gypsum-sand mixtures having varying strength, and different structural characteristics. Based on the analysis of the obtained results, the formula for determining the ratio of structural weakening of the tested models is derived. The research results can be used in the design of pit walls in case of the absence of special field studies concerning the mechanical properties of rocks.

Keywords: adhesion, physical modeling, equivalent material, structural block, shear, strength, coefficient of structural weakening.