

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СТРУКТУРНОЙ ОСЛАБЛЕННОСТИ МАССИВА СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Л.А. Манукян, Г.Г. Казарян, А.А. Казарян

ЗАО "Лернаметаллургияи институт"

При отработке месторождений полезных ископаемых технологические процессы по производству вскрышных работ и добыче руды, как правило, ведутся в значительных объемах трещиноватой горной массы, охватывающей множество ее структурных блоков, вследствие чего прочность монолитных кусков существенно отличается от прочности массива. При трещиноватой структуре массива пород их сопротивляемость сдвигу (обрушению) только в незначительной степени зависит от прочности породы в монолите. Здесь решающее значение имеют структурные характеристики массива горных пород в целом. Сопротивляемость массива сдвигу при этом может быть в десятки раз меньше сопротивляемости монолитного куска. Поэтому отсутствие достаточно точных методов определения прочностных характеристик массива скальных пород различной структуры часто приводит к ошибкам при определении величины сцепления и, как следствие, к неточному установлению параметров бортов карьеров, обеспечивающих их устойчивость. Проведение исследований по оценке сопротивляемости массива горных пород на сдвиг натурными испытаниями призм больших размеров неэффективно и имеет существенные недостатки, заключающиеся в невозможности учета влияния ряда факторов, характеризующих нарушенность массива в местах проведения натуральных испытаний, его выветрелость, небольшие размеры испытуемых призм и т.п. Исходя из вышесказанного, предложена аналитическая зависимость, позволяющая уточнить данные коэффициента структурного ослабления массива горных пород, полученные лабораторными исследованиями на моделях из эквивалентных материалов, путем учета некоторых показателей, характеризующих прочность и неоднородность массива горных пород, а также возможные образования остаточных микродеформаций и ослабления массива горных пород производством массовых взрывов на карьере.

Ключевые слова: структурное ослабление, горная порода, эквивалентный материал, моделирование, неоднородность.

Введение. При проектировании бортов карьеров необходимо с достаточной для практических целей точностью иметь исходные показатели, основным из которых является сопротивляемость массива горных пород на сдвиг. Изучение закономерностей изменения сопротивляемости массива горных пород на сдвиг в зависимости от физико-механических свойств горных пород в монолите и различных структурных показателей массива целесообразно проводить испытанием структурных моделей из эквивалентных материалов [1].

Выполненными на моделях исследованиями установлено, что прочность трещиноватого массива скальных пород зависит от отношения высоты разрушаемого массива к размерам отдельных структурных блоков, т.е. отношения H/L , прочности отдельных структурных блоков σ_k , наличия в массиве определенного количества более слабых блоков v и нарушенности массива взрывными работами.

Постановка задачи и методы исследования. В общем случае коэффициент структурного ослабления в натуральных условиях нами рекомендуется определять по формуле

$$\lambda_{\text{нат}} = \lambda_{\text{лаб}} n_1 n_2 n_3, \quad (1)$$

где $\lambda_{\text{лаб}}$ - коэффициент структурного ослабления, полученный испытаниями лабораторных моделей [1] и равный $\lambda_{\text{лаб}} = f(\frac{H}{L})$; n_1 - коэффициент, учитывающий прочность породы в натуральных условиях, $n_1 = f(\sigma_k)$; n_2 - коэффициент, учитывающий неоднородности слагающих массив породных блоков разной прочности, $n_2 = f(v)$; n_3 - коэффициент, учитывающий расположение рассматриваемого массива по отношению к поверхности откоса борта.

Результаты исследования. В приведенной выше формуле (1) учет первого фактора можно производить согласно полученной в работе [1] зависимости

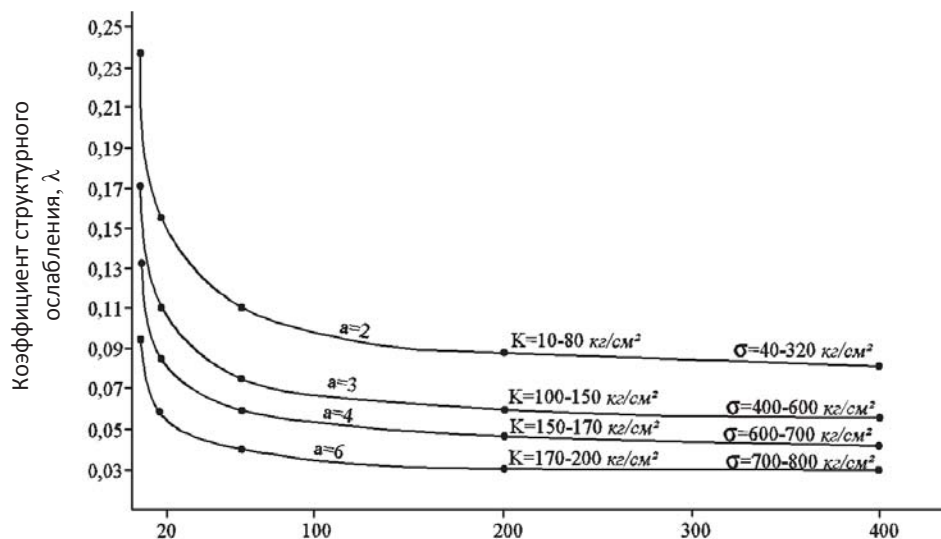
$$\lambda_{\text{лаб}} = 0,691 \left(\frac{H}{L}\right)^{-0,302}. \quad (2)$$

Относительно коэффициента, учитывающего неоднородности слагающих массив породных блоков разной прочности, имеются различные подходы. Основываясь на результатах наших экспериментов, можно с уверенностью утверждать, что с увеличением прочности пород коэффициент структурного ослабления λ должен уменьшаться. В связи с тем, что величину этого уменьшения в лабораторных экспериментах оценить практически очень трудно, в настоящей статье приведены результаты полевых экспериментов Г.Л. Фисенко [2] на ряде карьеров (рис. 1).

Как видно из приведенного на рис. 1 графика, в рассмотренном диапазоне прочностей породы в монолите ($\sigma = 40...320 \text{ кг/см}^2 - 700...800 \text{ кг/см}^2$) коэффициент структурного ослабления уменьшается в два раза.

Используя приведенные на рис. 1 данные, можно ориентировочно оценить влияние прочности пород на величину коэффициента структурного ослабления через коэффициент n_1 , выражающий отношение λ для более крепких пород к λ , установленному для слабых пород. Принимая ориентировочно для слабых пород с $\sigma = 70 \text{ кг/см}^2$ величину коэффициента n_1 равной 1, тогда зависимость между коэффициентом n_1 и прочностью в куске породы в пределах $\sigma = 70...600 \text{ кг/см}^2$ можно выразить ориентировочной зависимостью, представленной на рис. 2, а

для пород, имеющих прочность более $\sigma = 600 \text{ кг/см}^2$, коэффициент n_1 можно принять равным 0,5.



Отношение высоты борта карьера H к размерам отдельных структурных блоков l

Рис. 1. График определения коэффициента структурного ослабления пород скального горного массива по материалам [2]

Коэффициент, учитывающий неоднородности слагающих массив породных блоков разной прочности $n_2 = f(v)$, зависит как от процентного содержания слабых блоков в массиве, так и от соотношения максимальной и минимальной прочностей слабых блоков ($\sigma_{\text{макс}} : \sigma_{\text{мин}}$). Ориентировочная зависимость $n_2 = f(v)$, по данным модельных исследований при $H/l = 43$ [1], показана на рис. 3. При наличии в массиве горных пород небольшого количества слабых блоков и соотношении $\sigma_{\text{макс}} : \sigma_{\text{мин}}$, равном 1,3...1,5, коэффициент n_2 можно принять равным 1.

Влияние третьего фактора на прочность массива впервые рекомендовал учитывать Ю.И. Туринцев [3]. Им установлено, что остаточные микродеформации при массовых взрывах отмечаются на расстоянии $L=80...100 \text{ м}$. Следовательно, горный массив, расположенный ближе указанного расстояния к поверхности борта, будет ослаблен взрывами. В этой связи коэффициент n_3 , соответствующий расстоянию производства массовых взрывов, можно принять равным 1. Изменение последнего при уменьшении расстояния L характеризуется графиком $n_3 = f(L)$, приведенным на рис. 4.

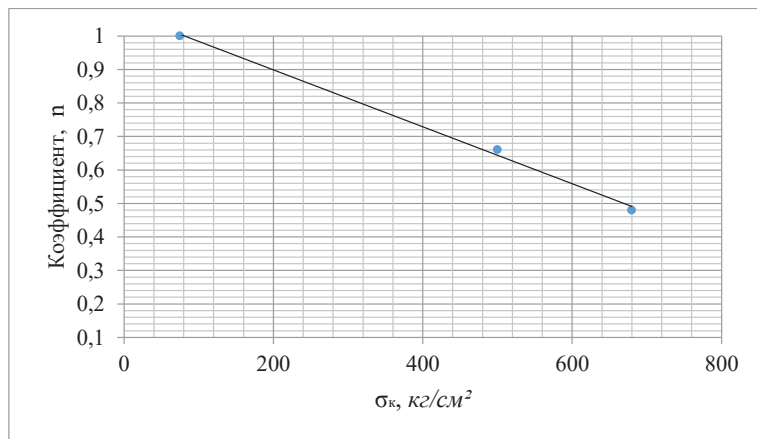


Рис. 2. Ориентировочный график $n_1 = f(\sigma)$ по данным Г.Л. Фисенко

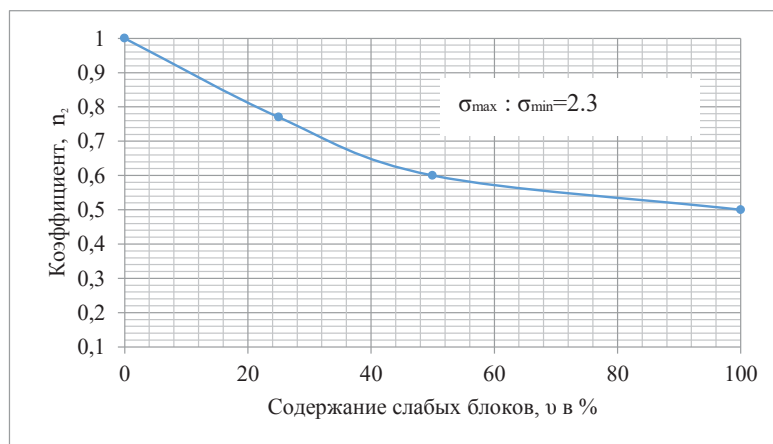


Рис. 3. Ориентировочный график $n_2 = f(v)$ по данным экспериментов на моделях с $H/l = 43$

На основании приведенного графического материала, позволяющего установить коэффициенты n_1 , n_2 и n_3 при разных значениях высоты борта карьера и прочности кусков породы, а также с использованием аналитической зависимости, полученной лабораторными модельными исследованиями [1], становится возможным определить коэффициент структурного ослабления массива горных пород в натуральных условиях. В качестве примера в таблице представлены результаты расчетов при содержании слабых блоков в массиве $v = 20\%$, $\sigma_{\max} : \sigma_{\min} = 2,3$ и среднего размера куска в массиве горных пород $l = 0,4$ м.

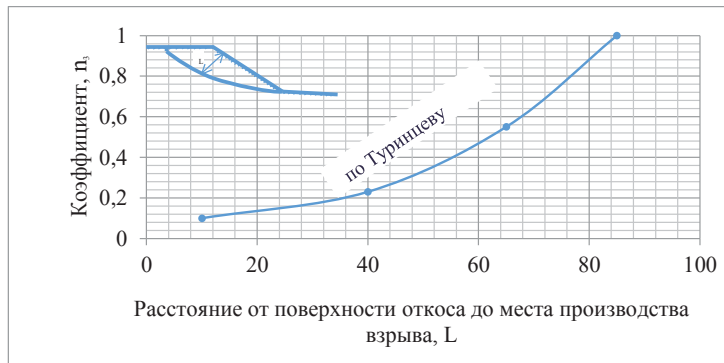


Рис. 4. График зависимости $n_3 = f(L)$ по данным Ю.И. Туринцева

Таблица
Показатели установления коэффициента структурного ослабления массива горных пород в натуральных условиях

Высота борта карьера, $H, м$	Прочность породы в куске, $K_{кус}, кг/см^2$	Расстояние от поверхности борта, $L, м$	Коэффициенты, учитывающие			Коэф. структурного ослабления, установленный моделированием, $\lambda_{лаб} = 0,691 \left(\frac{H}{L}\right)^{-0,302}$	Уточненный коэф. структурного ослабления породы в массиве, $\lambda_{нат} = \lambda_{лаб} \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3$	Сцепление пород в массиве, $K_{масс}, кг/см^2$ $K_{кус} \cdot \lambda_{нат}$
			прочность породы в натуральных условиях, n_1	неоднородности слагающих массив пород, n_2	расстояние взрыва от поверхности откоса борта, n_3			
100	50	20	1,0	0,8	0,15	0,1304	0,0156	0,78
	100		0,975				0,0153	1,53
	150		0,925				0,0145	2,175
	200		0,880				0,0138	2,76
	300		0,815				0,0128	3,84
200	50	40	1,0	0,8	0,23	0,1058	0,0195	0,975
	100		0,975				0,0190	1,90
	150		0,925				0,0180	2,70
	200		0,880				0,0171	3,42
	300		0,815				0,0159	4,77
300	50	65	1,0	0,8	0,55	0,1034	0,0455	2,275
	100		0,975				0,0444	4,44
	150		0,925				0,0421	6,315
	200		0,880				0,0400	8,0
	300		0,815				0,0371	11,13
400	50	85	1,0	0,8	1,0	0,086	0,0688	3,44
	100		0,975				0,0671	6,71
	150		0,925				0,0636	9,54
	200		0,880				0,0605	12,1
	300		0,815				0,0561	16,83

Выводы

1. Предложен метод усовершенствования коэффициента структурного ослабления массива горных пород в зависимости от отношения высоты борта карьера к размерам отдельных структурных блоков, прочности отдельных структурных блоков, наличия в массиве определенного количества более слабых блоков и нарушенности массива взрывными работами.

2. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании бортов карьеров в случае отсутствия специальных натуральных исследований механических свойств горных пород или невозможности их выполнения.

Литература

1. Манукян Л.А., Казарян Г.Г., Казарян А.А., Цатрян Г.З. Исследование сопротивляемости массива горных пород на сдвиг на моделях из эквивалентных материалов // Вестник НПУА: Metallургия, материаловедение, недропользование.- 2017.- №1.- С. 91-98.
2. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов.- М.: Недра, 1965.- 378 с.
3. Прочность скальных горных пород в массиве / Ю.И. Туринцев и др. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал.- М., 1966.- № 7.- С. 18-24.

*Поступила в редакцию 29.09.2017.
Принята к опубликованию 10.11.2017.*

ԲՆԱԿԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ԺԱՅՈՒՅԻՆ ԼԵՌՆԱՅԻՆ ԱՊԱՐՆԵՐԻ ԶԱՆԳՎԱԾԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ ԹՈՒԼԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ԲԱՐԵԼԱՎՈՒՄԸ

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

Օգտակար հանածոների հանքավայրերի մշակման ժամանակ մակաբացման ապարների հեռացման և հանքաքարի արդյունահանման տեխնոլոգիական գործընթացները, որպես կանոն, կատարվում են բազմաթիվ կառուցվածքային բլոկներ ընդգրկող նշանակալից ծավալների ճեղքավորված լեռնային զանգվածներում, ինչի հետևանքով միաձույլ ապարների ամրությունը էականորեն տարբերվում է լեռնային զանգվածի ամրությունից: Ճեղքավորված կազմության ապարային զանգվածի սահքի (փլուզման) նկատմամբ դիմադրողականությունը միայն աննշան կերպով է կախված միաձույլ ապարի ամրությունից: Այստեղ վճռորոշ նշանակություն ունեն լեռնային ապարային զանգվածի կառուցվածքային բնութագրիչները ամբողջովին վերցրած, քանի որ զանգվածի դիմադրողականությունը սահքին կարող է տասնյակ անգամներ փոքր լինել ապարային միաձույլ կտորի դիմադրողականությունից: Այդ պատճառով տարբեր կազմությամբ ժայռային ապարային զանգվածի ամրության ցուցանիշների բնութագրիչների որոշման բավարար ճշտությամբ մեթոդների բացակայությունը հաճախ հանգեցնում է ապարներում կապակցվածության որոշման անճշտություններին, ինչը իր հերթին հանգեցնում է բացահանքերի կողերի կայունությունն ապահովող մի շարք պարամետրերի ոչ ճիշտ

որոշմանը: Մեծ չափերով պրիզմաների վրա բնական փորձարկումների կատարմամբ լեռնային ապարների զանգվածի սահքի դիմադրության գնահատումն ունի էական թերություն, ինչը պայմանավորված է բնական փորձարկումների կատարման տեղերում զանգվածի ամբողջականության խախտումը, հողմահարումը, փորձարկվող պրիզմաների առավել չափերը և որոշ այլ բնութագրող գործոնների ազդեցությունը հաշվի առնելու անհնարինությամբ: Առաջարկված է անալիտիկ կախվածություն, ինչը թույլ է տալիս ճշգրտել էկվիվալենտ նյութերից պատրաստված սողելների լաբորատոր փորձարկումներով լեռնային ապարային զանգվածի կառուցվածքային թուլացման գործակցի ստացված արժեքները, լեռնային ապարների զանգվածի անհամասեռությունը, ինչպես նաև բացահայտում զանգվածային պայթեցումներից մնացորդային միկրոդեֆորմացումների առաջացման հնարավորությունը և լեռնային ապարների զանգվածի թուլացումը:

Առանցքային բառեր. կառուցվածքային թուլացման գործակից, լեռնային ապար, էկվիվալենտ նյութ, մոդելավորում, անհամասեռություն:

IMPROVING THE METHOD FOR DETERMINING THE FACTOR OF STRUCTURAL WEAKNESS OF THE ROCK MASS UNDER NATURAL CONDITIONS

L.A. Manukyan, G.H. Ghazaryan, A.A. Ghazaryan

When mining mineral deposits, the technological processes for the production of stripping and ore mining are usually conducted in significant volumes of fractured rock mass, covering many of its structural blocks, as a result of which the strength of monolithic pieces is significantly different from the strength of the mass. With the fractured structure of the rock mass, their resistance to bridging (collapse) depends on the strength of the rock in the monolith only to a small extent. The structural characteristics of the rock mass as a whole are of decisive importance here. The shear strength of an array can be tens of times less than that of a monolithic piece. Therefore, the lack of sufficiently accurate methods for determining the strength characteristics of a rock mass of various structures often leads to errors at determining the amount of adhesion, which, in its turn leads to an inaccurate setting of the parameters of the quarries, ensuring their stability.

The assessment of the rock mass resistance to the shift by large-sized prisms has significant disadvantages: the impossibility of accounting the influence of a number of factors, characterizing the mass disturbance in the places of field trials, its weathering, small sizes of prisms tested, etc. In this connection, the article proposes the analytical dependence, allowing to specify the obtained data of the rock mass structural weakness factor obtained by laboratory investigations on the models from equivalent materials, by considering certain parameters, characterizing the durability and nonuniformity of the rock mass, as well as the possible formation of residual micro-deformations and weakening of the rock mass by providing mass explosions on the pit.

Keywords: structural weakening, rock, equivalent material, heterogeneity, modeling.