

— получены данные о размерах каверн на различных глубинах скважин и в различных горных породах позволяющие выявить закономерности изменения проектного сечения скважин в зависимости от диаметра скважин, литосостава вмещающих пород и глубины их залегания.

Библиографический список

1. Малахов Г.М., Безух В.Ф., Петренко П.Д. Теория практика выпуска руды. — М.: Недра, 1968.
2. Барон Л.И. Вторичное дробление и выпуск руды. Metallurgizdat, 1950.
3. Анистратов Ю.И., Жабин Н.И. Теория и практика бункеризации склонной к слеживаемости горной массы. — М.: Наука, 1968.

© Борщевский С.В., 2002

УДК 622.252.8+622.831

ЛЕВИТ В.В., БОРОДУЛЯ А.А., РЕЗНИК А.В. (ДонНТУ)

ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ МНОГОСЛОЙНОГО МАССИВА ПОРОД ПРИ СООРУЖЕНИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Представление о влиянии на устойчивость шахтных стволов чередующихся разнопрочных и разномошных пород кажется общепринятым, но практически приемлемых разработок по учету структурной и механической неоднородности слоистых толщ очень мало. В настоящее время также отсутствуют теоретически обоснованные подходы оценки взаимосвязи литолого-структурных и механических показателей многослойной толщи пород, их влияния на устойчивость стволов. Для большинства разработок характерно стремление обосновать возможность не учета неоднородности пород, что приводит к значительной идеализации условий проходки и крепления стволов и, безусловно, снижению надежности принимаемых по ним решений.

Оценка неоднородности многослойных толщ представляет собой инженерно-геологическую проблему первостепенной важности [1]. Особенность здесь состоит в том, что неоднородность породного массива является причиной неоднородности поля напряжений вокруг шахтного ствола, которое связано как со строением массива, так и с процессом деформирования пород. Несимметричность геомеханического состояния системы «крепь — породный массив» в первую очередь вытекает из литолого-структурной и механической неоднородности толщ пород, а также особенностей внешнего их нагружения. Поэтому характер и возможности управления массивом пород определяются уровнем напряженных неоднородностей, а построение физической модели деформирующегося массива неразрывно связано с условиями контактирования слоев пород и значений интегрального показателя, характеризующего механические свойства не одного породного слоя, а многослойной породной толщи.

Определяющими во влиянии слоистой толщи на устойчивость ствола являются как величина, так и разница в прочности контактирующих породных слоев. Это положение вкладывается в две общеметодические предпосылки: расширенную статистическую теорию хрупкой прочности Вейбулла, которая основывается на концепции наиболее «слабого звена» и принцип Парето. Можно сказать, что согласованность принципа Парето с АБС-анализом заключается в разделении оцениваемых

явлений, в данном случае многослойных толщ, по категориям, исходя из того, что внутри исследуемого множества отдельные малые его части обнаруживают наибольшую значимость, чем это соответствует их относительному удельному весу в этом множестве. В нашей задаче это трансформируется в то, что наличие даже слоя небольшой мощности пород слабой прочности в толще по вкладу его на устойчивость ствола может оказаться более значимым, чем толщи с одинаковыми средними показателями прочности пород. Приоритет постановки исследуемой задачи по оценке прочности многослойной толщи пород и ее влияния на устойчивость шахтного ствола усиливается, так как в пересекаемых стволами толщах удельный вес весьма слабых пород составляет 15–20%, слабых — 15–40%, что в совокупности достигает 30–65%. Коэффициент крепости этих пород составляет 2–4.

Так, из 220 вентиляционного ствола № 7 шахты им. А.Г. Стаханова 97 имеют коэффициент крепости до 2, породы вентиляционного ствола № 5 с коэффициентом крепости до 4 составляют около 80%, а в местах вывалов такие породы составляют около 90%. Такая же картина наблюдается на этой шахте с породами, вскрытыми воздухоподающим стволом № 4 блока № 5. Породы с коэффициентом крепости до 4 по всей длине ствола и в местах вывалов составляют более 80%.

Учитывая сильную неоднородность пород продуктивных толщ Донбасса, в определении категорий устойчивости стволов, анализа напряженно-деформированного состояния ослабленного ими массива, типизации условий сооружения и выбора средств крепления стволов, важно более адекватно природному состоянию пород оценивать их неоднородность и прочность. Для получения зависимости, определяющей более надежно прочность сложноструктурной толщи пород, выполнена обработка больших статистических массивов по различным вариантам сочетаний пород. Было выделено два базовых варианта сочетания пород (слабый слой в прочных породах, прочный слой в слабых породах) при трех основных литотипах (песчаник, алевролит, аргиллит), то теоретически возможное число комбинаций трехчленных компонент при двух граничных значениях равно частному от деления числа размещений A_6^3 на число сочетаний C_6^2 , поэтому максимально возможное число вариантов условий по исследуемому стволу равно: $A_6^3 / C_6^2 = (6 \cdot 5 \cdot 4) / [(6 \cdot 5) / (1 - 2)] = 8$.

Восемь сочетаний пород по глубине ствола принято как оптимальная величина. Всего было проанализировано 847 вариантных сочетаний литотипов толщ, пересекаемых стволами [2]. Этому предшествовали сопоставительный анализ средних, средневзвешенных и приведенных величин прочности (крепости) пород. Для этого была выполнена разработка по совершенствованию известных зависимостей [3, 4] определения приведенной прочности с учетом фактора времени, т.е. длительной приведенной прочности.

Для двухслойного образца средневзвешенное значение прочности определяется [4]:

$$R = \frac{h_1}{h} R_1 + \frac{h_2}{h} R_2, \quad (1)$$

где R_1, R_2, R_3 — прочность, соответственно, многослойного образца, наименее и наиболее прочных слоев; h_1, h_2 — мощности менее и более прочных слоев; $h = h_1 + h_2$.

Для оценки прочности трехслойных образцов усовершенствована эмпирическая формула [4], которая скорректирована нами с учетом реологических свойств горных пород [3]:

$$R_{np} = \frac{h_1}{h} R_1 + \frac{h_2}{h} R_2 + \frac{h_3}{h} R_3 - \left\{ \frac{\alpha \cdot \beta}{m-1} \left[\frac{h_1}{h} \sqrt{\frac{h_2}{h}} (R_1 - R_2)^\gamma + \frac{h_2}{h} \sqrt{\frac{h_3}{h}} (R_2 - R_3)^\gamma \right] \right\}, \quad (2)$$

где $\alpha=2,5$; $\beta=1,2$; $\gamma=5/6=0,833$ — реологические показатели для трех слоев; m — количество слоев.

Зная прочность отдельных слоев и их мощность, по формуле (2) была определена приведенная прочность многослойной толщи массива.

Поскольку реологические свойства горных пород и особенно длительная прочность оказывают большое влияние на характер проявлений горного давления, то вычисление значений приведенной прочности выполнено с учетом реологических показателей пород. Поэтому в расчетах при прогнозировании устойчивости стволов следует принимать длительную прочность, которая, исходя из положений теории упруго-наследственных сред, может быть описана уравнением вида:

$$R(t) = R_{np} \sqrt{1 - \frac{\chi}{\beta} \left[1 - \exp(-0,7\beta t^{0,3}) \right]}, \quad (3)$$

где χ и β — реологические параметры; $R(t)$ — длительная прочность пород, при которой происходит их разрушение через время t ; R_{np} — приведенные значения прочности (коэффициента крепости), полученные по (2); χ/β — реологический показатель, определяемый экспериментальным или расчетным путем.

Для расчета χ/β была использована корреляционная зависимость связи между этим показателем и прочностью пород на одноосное сжатие:

$$\frac{\chi}{\beta} = 0,8 - 0,326 \lg R_{np}, \quad (4)$$

Уравнение при корреляционном отношении 0,64 справедливо в диапазоне $5 < R_{np} < 300$. Приближенная оценка χ/β осуществлялась по классификации Б.М.Усаченко [3]. При $t \rightarrow \infty$ предел длительной прочности определяется из выражения по (3):

$$R(t) = R_{np} \sqrt{1 - \frac{\chi}{\beta}}, \quad (5)$$

Реологический показатель слоистых образцов находится из выражения:

$$\frac{\chi}{\beta} = \frac{\sum_1^n \varepsilon'_n h_i}{\sum_1^n \varepsilon'_n h_i + 0,8 \sum_1^n \varepsilon'_0 h_i}, \quad (6)$$

где ε'_0 и ε'_n — соответственно деформации условно-мгновенная и ползучести пород, слагающих слой породной толщи.

Учитывая задачу типизации условий крепления шахтных стволов, осуществлены разделение типов пород вскрываемых толщ по прочности и сопоставительная оценка их значений с учетом неоднородности и фактора времени. Анализ показывает, что по величине оцениваемой прочности пород можно выделить три основные категории, характеризующие малую ($f=0-6$), среднюю ($f=6-12$) и высокую прочность ($f>12$). Вводя еще две добавочные категории, и принимая во внимание рекомендации [5], общую шкалу можно представить в виде пяти классов прочности пород: I —

весьма прочные ($R_{сж} > 120$ МПа); II — прочные ($R_{сж} = 60-120$ МПа); III — средней прочности ($R_{сж} = 40-60$ МПа); VI — малопрочные ($R_{сж} = 25-40$ МПа); V — слабые ($R_{сж} < 25$ МПа). Используя разработки Б.М. Усаченко [3], нами уточнена взаимосвязь прочности и реологического показателя пород, которая осуществлена на базе уравнения (4). Это вызвано тем, что разброс длительной приведенной прочности больше, чем прочности при кратковременных испытаниях. Исходя из этого, определена такая уточненная взаимосвязь между R_t и χ/β по классам прочности: I — $\chi/\beta < 0,16$; II — $0,16-0,25$; III — $0,25-0,40$; IV — $0,40-0,63$, V — $0,63-1,00$. Точный расчет показателя χ/β может быть осуществлен по формуле (4).

Обобщение этих разработок нашло отражение в сопоставительной оценке прочности пород, результаты которой иллюстрировано представлены в таблице. Был выполнен расчет для сочетания аргиллитов, алевролитов и песчаников, реже угля, имеющих прочность 10–190 МПа, мощность — 0,1–46,0 м [2].

Таблица. Приведенные значения длительной прочности

Ствол	Литология	Мощн. пластов, м	$R_{сж}$, МПа	Изменения прочности, МПа			
				среднее	ср. взвеш.	привед.	R_t
ш. им. Стаханова А.Г., вентиляционный ствол № 5	алевролит	1,7	40	50	40	30	23,2
	аргиллит	3,7	30				
	известняк	1,2	70				
	алевролит	6,9	40	30	25	20	13,6
	аргиллит	3,0	20				
	алевролит	17,0	25				
	песчаник	7,9	70	33	30	18	14,0
	уголь	0,1	10				
	алевролит	2,6	10				
аргиллит	26,9	20					
Вентиляцион- ный ствол № 8	алевролит	3,0	20	15	11	10	4,5
	аргиллит	4,4	10				
	алевролит	2,0	20				
Воздухо- подающий ствол № 4	алевролит	15,5	30	37	27	22	16,1
	аргиллит	0,5	60				
	алевролит	10,0	20				

Анализ результатов таблицы, где приведены средние, средневзвешенные и длительные значения прочности пород, вычисленные по 3–4 разнопрочным слоям, показывает, что средневзвешенные значения меньше среднеарифметических, а приведенные значения прочности, т.е. вычисленные по (2), меньше средневзвешенных. Кроме того, приведенные значения прочности пород, слагающих многослойную толщу, приближаются к значениям прочности наименее прочного слоя, различие достигает до 30%. Особо следует указать на существенную разницу между приведенной длительной и средней прочностью пород. Величина $R(t)$ ниже средневзвешенной прочности в 1,5–3,0 раза. Это весьма важно учитывать при определении критерия устойчивости вертикальной выработки «С» согласно СНиП [6].

Таким образом, установлены количественные показатели, характеризующие неоднородность слоистых толщ Донбасса, вскрываемых вертикальными стволами угольных шахт, получено их общее выражение в виде экспоненциальной зависимости в зависимости от сочетания групп пород по литологическим и механическим признакам. Для оценки приведенной прочности многослойных сложноструктурных толщ породных массивов уточнена формула, позволяющая учитывать количество

слоев, их мощность и разнопрочность, а также снижение несущей способности такого массива с учетом реологических процессов, протекающих в породах во времени, что повышает полноту и достоверность определения показателей несущей способности неоднородного породного массива.

Библиографический список

1. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных горных выработок в неоднородном массиве: Автореф. дис. докт. техн. Наук: 0,5.15.04 / ДГИ. — Днепропетровск, 1991. — 34 с.
2. Левит В.В., Рубец Г.Т., Бобро Н.Т. Приложимость теории наиболее слабого звена к оценке прочности сложноструктурных толщ, вскрываемых вертикальными стволами // Геотехническая механика, 1997. — № 3. — С. 59–65.
3. Усаченко Б.М. Свойства горных пород и устойчивость горных выработок. — Киев: Наук. думка, 1979. — 135 с.
4. Зубарев Ю.П., Лысиков Б.А., Шестаков Г.П. Прочность массива горных пород, представленного разнопрочными литологическими разностями // Разработка месторождений полезных ископаемых. 1974. — № 38. — С. 57–61.
5. Матвеев Б.В. К вопросу классификационной оценки свойств горных пород // Сб. ВНИИ горн. геомеханики и маркшейдер. дела, 1966. — № 60. — С. 325–353.
6. СНИП П-94-80. Подземные горные выработки // Госстрой СССР. — М.: Стройиздат, 1982. — 31 с.

© Левит В.В., Бородуля А.А., Резник А.В., 2002

УДК 622.281:622.283

КУКЛІНА Л.В., РЕВА С.М. (НГА України)

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНОГО КРІПЛЕННЯ У КАПІТАЛЬНИХ ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ НА ШАХТАХ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

Функціонування гірничого підприємства залежить від ряду чинників, серед яких важлива роль належить стану гірничих виробок, у тому числі — капітальних, які є основними транспортними артеріями та артеріями подачі повітря у інші виробки. В свою чергу, стан капітальних гірничих виробок у значній мірі залежить від типу кріплення, його несучої здатності, характеру роботи і відповідності конкретним гірничо-геологічним умовам.

При проектуванні кріплення проектувальники використовують коефіцієнт міцності гірських порід, який отриманий при іспитах зразків правильної геометричної форми на одноосний тиск. Вже цей чинник вказує на те, що зразки зроблено шляхом виключення природної тріщинуватості та інших дефектів. Таким чином, проектувальники орієнтуються на більш сприятливі умови, у яких буде працювати гірниче кріплення, ніж на ті, що є у конкретних умовах. При тому, що проектувальники повинні орієнтуватися тільки на нормативні документи, то вони обмежені необхідністю використовувати у проектах тільки затверджені типові кріплення, наприклад аркові зі спецпрофілю з щільністю встановлення рам відповідно до коефіцієнту міцності гірських порід. Природно, що при цьому у проекти закладено типові кріплення у припущенні, що воно забезпечить стійкість виробок у масиві порід з показником міцності, який відповідає такому у зразку правильної форми. Такий підхід приводить до того, що типові кріплення навіть у період будівництва виходить з ладу і виробку необхідно перекріпляти. Тут необхідно звернути увагу на дві важливі обставини: по перше — витрати на перекріплення капітальних виробок на шахтах Західного Дон-