

С.Г. Костюк, Г.А. Ситников, Н.Т. Бедарев, Н.Б. Ковалев, О.В. Любимов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАБИЛОМЕТРА «АЗИМУТ» 85Д01 И КАМЕРЫ ЗАПРЕДЕЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ БВ-21

Приведены примеры получения характеристик горных пород: угол внутреннего трения (φ) коэффициент сцепления (C), модуль упругости (E), модуль спада (m), длительная прочность пород ($\sigma_{сж.длит.}$) и др. полученные при испытании кернов $d = 50-80$ мм на стабилометре и $d = 40-42$ мм на камере запредельного деформирования при наличии бокового давления.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІРСЬКИХ ПОРІД З ВИКОРИСТАННЯМ СТАБІЛОМЕТРА «АЗИМУТ» 85Д01 І КАМЕРИ ПОЗАМЕЖНОГО ДЕФОРМУВАННЯ БВ-21

Наведено приклади отримання характеристик гірських порід: кут внутрішнього тертя (φ) коефіцієнт зчеплення (C), модуль пружності (E), модуль спаду (m), тривала міцність порід ($\sigma_{ст.прив.}$) та ін., одержані при випробуванні кернів $d = 50-80$ мм на стабілометрі та $d = 40-42$ мм на камері позамежного деформування при наявності бічного тиску.

RESEARCH REFINEMENT OF ROCKS STRUCTURAL CHARACTERISTICS USING STABILOMETER "AZIMUT" 85D01 AND OUT-OF-LIMIT DEFORMATION CHAMBER BV-21

The examples of the characteristics of rocks: the angle of internal friction (φ) friction coefficient (C), modulus of elasticity (E), the module fall (m), the long-term strength of rocks ($\sigma_{szh.dlit.}$) and others when tested cores $d = 50-80$ mm on the stabilometer and $d = 40-42$ mm on the camera in the presence of limiting deformation of the lateral pressure - are observed.

При ведении горных работ резко меняется естественная влажность и напряженное состояние массива, преимущественно, в сторону значительного уменьшения сопротивления слоев пород. Значительно уменьшаются прогнозные характеристики вмещающих пород вблизи зон геологических нарушений и в зонах влияния ведения

очистных работ [1].

В этой связи, для правильного расчета параметров подготовительных и очистных работ, а также при составлении норм и расценок на выемку горной массы, обуславливается необходимость отбора проб горных пород в районе ведения горных работ с последующим их испытанием в соот-

ветствии с нормативными документами. Для обоснования определения расчетной прочности пород ($\sigma_{сж}$) и других показателей.

Проведенные испытания образцов на одноосное сжатие – растяжение показали, что данные геологоразведки в 1,2-2,2 раза выше полученных при испытаниях на одноосное сжатие – растяжение [1].

Прочностные свойства горных пород зависят от различных факторов. В частности достаточно хорошо изучены связи физико-механических свойств пород с их вещественно-петрографическим составом, структурой и текстурой, степенью их катагенетических изменений и т.д. Однако исследования Украинских ученых [2] показали, что прочностные свойства горных пород в наибольшей степени связаны именно с изменением глубины, хотя сами авторы рассматривают полученные зависимости, главным образом, как предварительные результаты.

В настоящее время, кроме показателей прочности пород на одноосное сжатие – растяжение появилась необходимость расширения количества показателей прочности пород, по которым можно характеризовать устойчивость бортов карьеров – по показателям сцепления (C) и угла внутреннего трения (φ), устойчивость шахтных стволов – по показателям предельной прочности пород ($\sigma_{сж.пред.}$), по показателям длительной прочности ($\sigma_{сж.длит.}$) – долговременную устойчивость капитальных камер, по показателям остаточной прочности ($\sigma_{сж.ост.}$) – давление на крепь капитальных выработок, по допредельным и запредельным характеристикам пород – предсказывать склонность горных пород к горным ударам и др.

Для исследования указанных характеристик горных пород разработаны разнообразные методики и создана различная аппаратура, например: камера объемного сжатия (стабилометр «Азимут» 85Д01) и камера запредельного деформирования

БВ-21, изготовленные во ВНИМИ и имеются в лаборатории геомеханики и аэрологии Прокопьевского филиала КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева.

Для проведения испытаний при объемном сжатии кернов диаметром 50-80 мм выбуренных на пласте 68 шахты «Соколовская», количество образцов на одно испытание принимали не менее 4-х [3].

Перед испытанием каждый образец изолировали от жидкости, передающим гидростатическое давление (боковые поверхности – резиной, фольгой, клеем; торцевых – приложением стальных плит, заклеиванием бумагой).

Изолированный образец устанавливали в рабочую полость стабилометра «Азимут» 85Д01, герметизировали подачей в нее рабочую жидкость (компрессорное масло) насосом БН-10 до значений 10 МПа. Поддерживали заданное значение бокового давления с погрешностью $\pm 5\%$, нагружали образец вдоль оси до разрушения (насосом А-250).

Предел прочности при объемном сжатии ($\sigma_{бок} = 10$ МПа) для каждого образца вычисляли по формуле:

$$\sigma_{сж} = 10 \frac{P}{S}, \text{ МПа,}$$

где P – разрушающая сила, приложенная к торцам образца, кН;

S – площадь поперечного сечения образца, см^2 .

Для получения паспорта прочности поро строились круги напряжений Мора в координатах нормальных σ и касательных τ напряжений.

На рис. 1 приведены наиболее характерные круги Мора, где 1 – это круг одноосного растяжения; 2 – круг одноосного сжатия; 3 – круг объемного сжатия (при $\sigma_{бок} = 10$ МПа); линия $n-n$ – касательная к огибающей в точке ее пересечения с осью; линия $m-m$ – касательная к огибающей в любой точке на ней.

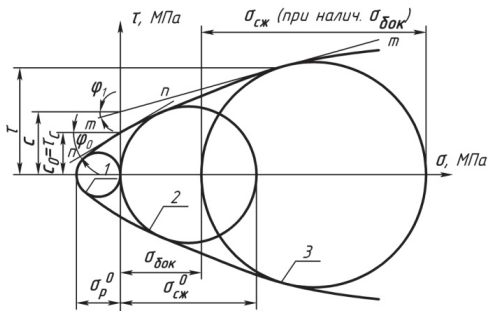


Рис.1. Круги Мора (паспорт прочности)

Полученные сравнительные результаты при отсутствии бокового давления (σ_0) и при наличии бокового распора в 10 МПа (σ_{10}) представлены в табл. 1.

Анализ табл. 1 показывает, что физико-механические характеристики пород значительно отличаются. Наличие бокового распора (имитация глубины) увеличивает сопротивление образцов на сжатие в 1,5-1,8 раза при уменьшении угла внутреннего трения и при увеличении коэффициента сцепления.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОБЪЕМНОМ СЖАТИИ ($\Sigma_{бок} = 10$ МПа)

Таблица 1

№ п/п	Место отбора проб	Наименование пород	Предел прочности на сжатие, МПа		Угол внутреннего трения, град		Коэффициент сцепления, МПа	
			σ_0	σ_{10}	φ_0	φ_{10}	C_0	C_{10}
1	Пласт 68	Уголь	5-7	7,5-11,5	64-66	30-33	0,9	2,5
2	Ложная кровля пласта 68	Углистый аргиллит	10-14	15-22	57	36-37	10,2	18,1
3	Непосредственная кровля пласта 68	Алевролит	18-29	37-49	50-53	30-34	3,2	5,1
4	Почва пласта 68	Алевролит	14-23	24-41	56-58	36-37	2,7	2,9

Камера запределного деформирования работает в режиме заданной скорости вдоль оси движения пуансона пресса ($P > 300$ кН) в комплекте с маслостанцией и распределителем Р-75-80 (с двумя рукоятками), закрепленном на раме пресса, что позволяет подавать компрессорное масло в рабочие камеры пресса и БВ-21, не используя для задания бокового давления насос БН-10.

На основании испытаний образцов в камере запределного деформирования БВ-21 (образцы диаметром 42-44 мм изолированные по аналогии с образцами диаметром 50-80 мм) можно строить полные диаграммы деформирования горных пород по методике в допределном и запределном состоянии (модуль упругости E , модуль спада M , остаточная прочность $\sigma_{ост}$ и др.) [4, 5].

На основании указанных диаграмм (рис. 2) можно предсказывать склонность горных пород к горным ударам по соотношению:

$$\frac{M}{E} = \frac{M}{D} = \lambda.$$

При показателе потенциальной удароопасности $\lambda > 1$ породы и уголь удароопасны.

Для наглядности ниже приводятся результаты испытания образцов (диаметр 40-42 мм) на этой камере рис. 2 [4].

На рис. 2 представлены полные диаграммы « $\sigma - \epsilon_1$ » угля (а) пл. II Внутреннего шахты «Киселевской» и песчаника (б), почва пл. Ударный шахты «Краснокаменская». Испытания образцов производили при задании бокового давления $q = \sigma_{min} = 0; 5; 10$ МПа.

Анализ рис. 2, а показывает, что при задании бокового давления $q = \sigma_{min} = 5$ МПа предел прочности угля σ_c (по сравнению с пределом прочности при одноосном сжатии, боковой распор $q = 0$) возрас-

тает с 13 до 16 МПа. При $q = 10$ МПа предел прочности составляет $\sigma_c = 12$ МПа. Остаточная прочность $\sigma_{ост} = 14$ МПа, а

длительная прочность $\sigma_{длит} = 15,8$ и 19,8 МПа, соответственно при $q = 5$ и 10 МПа.

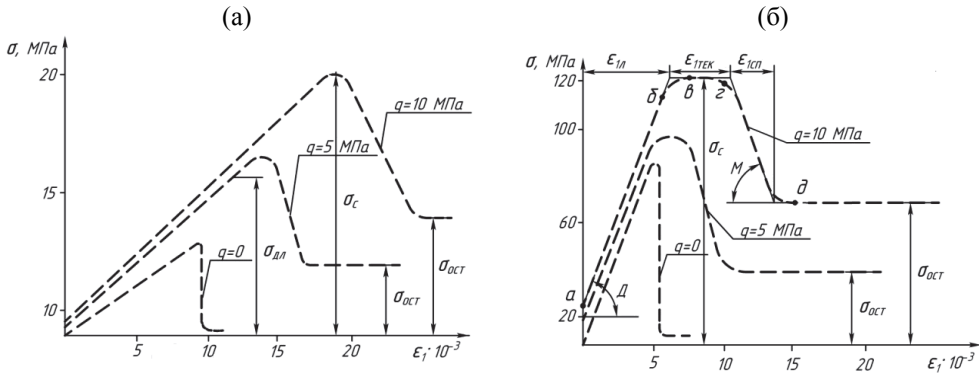


Рис. 2. Полные диаграммы деформирования угля (а) и песчаника (б) Прокопьевско-Киселевского месторождения

При этом с ростом боковых нагрузок выполаживается модуль спада (M), а модуль деформации (D) становится круче. Величины M (модуль спада) и D (модуль деформации) показаны на рисунке (б) при боковой нагрузке $q = 10$ МПа. Эти величины не показаны на рис. 2, а, а также на рис. 2, б при $q = 5$ МПа, чтобы не загромождать рисунки.

На рис. 2, б при задании бокового давления $q = 10$ МПа отмечены точки характерного состояния деформирования: a – начало деформирования ($\sigma_{max} = 20$ МПа); b – наибольшее уплотнение образца и соответствующий ему предел длительной прочности ($\sigma_{длит} = 117$ МПа); $в$ – предел прочности ($\sigma_c = 128,8$ МПа); $г$ – максимальная пластическая деформация и начало спада сопротивления ($\sigma = 10$ МПа); $д$ – достижение остаточной прочности ($\sigma_{ост} = 69$ МПа) участка $a, б, в, г, д$ построены на всех графиках при $q = 5$ и 10 МПа. На этом же гра-

фике (другие не загромождали) обозначены полные линейные нагрузочные деформации $\epsilon_{1л} = 5,6 \cdot 10^{-3}$ м и деформации спада $\epsilon_{1скл} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Аналогично рис. 2, а, б можно констатировать, что предел прочности песчаника возрастет с 86 МПа до 97 и 122,8 МПа, при $q = 5$ и 10 МПа, соответственно, а $\sigma_{ост}$ составляет 40 и 68 МПа, при $q = 5$ и 10 МПа соответственно. При этом с ростом боковых нагрузок выполаживается модуль спада (M), а модуль деформации становится круче.

Однако во всех случаях показатель потенциальной удароопасности $\lambda > 1$. На основании вышеизложенного представляется возможным характеризовать устойчивость бортов карьеров, шахтных стволов, давление на крепь капитальных выработок, склонность пород к горным ударам и др. с учетом глубины ведения горных работ.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ренев, А.А. *Определение показателей деформируемости и объемной прочности углеродного массива до и за пределом прочности [Текст]: материалы науч.-практ. конф. «Вопросы повышения безопасности горных работ на шахтах»* гг. Прокопьевск-Кемерово / А.А. Ренев, Н.Т. Бедарев, Н.Б. Ковалев, Т.И. Рыжова. – Прокопьевск: Кузбассуглетехиздат, 2003. – С.13-16.

2. Овчаренко, Б.П. *О связи прочности пород с метаморфизмом [Текст] / Б.П. Овчаренко, М.П. Шамаев // Уголь Украины. – 1964. – № 2. – С. 14-15.*

3. Бедарев, Н.Т. *Построение паспорта прочности пород по результатам испытаний кернов в стабилометре «Азимут» 85Д01 [Текст]: материалы I Региональной науч.-практ. конф; сб. науч. тр. «Влияние научно-технического прогресса на экономическое развитие Кузбасса» / Н.Т. Бедарев, В.М. Камалов и др. – Прокопьевск, 2006. – С. 174-176.*

4. Ренев, А.А. *О постановке геомеханических исследований в филиале ГУ КузГТУ в г. Прокопьевске [Текст]: материалы науч.-практ. конф.; сб. науч. тр. «Инновации – основа комплексного развития угольной отрасли в регионах России и странах СНГ» / А.А. Ренев, С.Г. Костюк, Н.Т. Бедарев. – Прокопьевск, 2009. – С. 162-165.*

5. Карташов, Ю.М. *Методические указания по определению полного паспорта прочности и деформированности горных пород [Текст] / Ю.М. Карташов, М.Д. Ильинов и др. – Л.: ВНИМИ, 1988. – 113 с.*

ОБ АВТОРАХ

Костюк Светлана Георгиевна – к.т.н., директор Филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева».

Ситников Геннадий Анисимович – к.т.н., доцент кафедры технологии и комплексной механизации горных работ Филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева».

Бедарев Николай Тимофеевич – к.т.н., доцент кафедры технологии и комплексной механизации горных работ, заведующий лабораторией геомеханики и аэрологии Филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева».

Ковалев Николай Борисович – соискатель кафедры разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева».

Любимов Олег Владиславович – к.т.н., доцент кафедры прикладной механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева».