

ствующая определенной эталонной модели, мы автоматически, по схеме минимизации среднего риска выделим те яруса армировки и соответствующие проводники, на которых сосуд систематически наезжает на одни и те же выступы. Такой подход к обработке данных измерений существенно сократит затраты времени на диагностирование оборудования ствола, а также позволит исключить необходимость его сплошного визуального обследования.

Аппаратура для проведения тестовых динамических измерений при движении подъемных сосудов, пригодных для автоматизированного выявления наличия уступов на стыках проводников, должна иметь вполне определенные параметры по числу входных измерительных каналов, частоте их опроса, амплитудно-частотным характеристикам динамических датчиков, емкости накопителя и др. На основании полученных решений может быть выполнено обоснование и синтез исходных требований к ее составу и параметрам, ориентированным на применение стандартных измерительных модулей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.Р.Ильин, Б.С.Послед. Взаимодействие предохранительных башмаков подъемных сосудов с выступами на стыках проводников. // Геотехническая механика. Днепропетровск. – 2001. №29.- С. 189-195.
2. В.Н.Вапник и др. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей. Изд «НАУКА», Москва. Главная редакция физико-математической литературы. 1984 – 816 с.

**УДК 622.831**

С.Н. Розумный

### **ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПАСПОРТА ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД**

Приведено прискорені методи визначення кута внутрішнього тертя та коефіцієнта зчеплення гірських порід.

### **EXPRESS-VALUATION OF PASSPORT STRENGTH PARAMETERS OF THE ROCK**

Intensive methods of determination of the corner of internal friction and coefficient of coupling of the rocks are given.

Горные породы в окрестности капитальных, подготовительных и очистных горных выработок, в целиках и потолочинах находятся в сложном напряженном состоянии. Устойчивость этих выработок, а также внезапные выбросы пород, угля и газа тесно связаны с условиями предельного состояния и процессом разрушения породного массива [1]. Поэтому необходимо обладать достоверной информацией о том, в каком месте и при каких условиях будет достигнута предельная несущая способность материала и к каким последствиям это приведет в результате разрушения горной породы.

Теория прочности горных пород достоверно оценивает прочность породы при любых видах напряженного состояния [2]. Большое разнообразие свойств пород, сложность механизма их разрушения и различные характеристики со-

противления сжатию и растяжению затрудняют создание универсальной теории прочности. В механике горных пород наиболее широкое распространение получила теория прочности Мора, описывающая взаимосвязь между нормальными и касательными напряжениями. По этой теории разрушение наступает тогда, когда касательное напряжение  $\tau$  по одной из площадок является значением некоторой функции нормального напряжения  $\sigma$  на этой же площадке. С помощью огибающей максимальных кругов напряжений Мора ("паспорта прочности" горных пород) можно определить временное сопротивление пород одноосному, двухосному и трехосному растяжению, одноосному сжатию, кручению, срезу со сжатием, объемному сжатию, коэффициент сцепления и угол внутреннего трения для различных напряженных состояний [3].

Пусть главные нормальные напряжения, действующие на некоторый объем, находятся в соотношении

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3.$$

При этом делаются два допущения [2]:

- 1) среднее главное напряжение не влияет на условия разрушения;
- 2) площадка разрушения проходит через направление этого напряжения и составляет некоторый угол с направлением наибольшего главного напряжения.

При определенном соотношении  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  касательное напряжение  $\tau = f(\sigma)$  достигает предельного для горной породы значения. Разрушение в этом случае происходит путем сдвига по указанной площадке.

Предельное состояние горных пород определяется кругами напряжений, центры которых равны  $\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ , а радиусы  $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$  (рис. 1). Проходящая через такую совокупность кругов огибающая будет оценивать прочность горной породы при любом виде напряженного состояния:

$$\left( \sigma - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \right)^2 + \tau^2 = \left( \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right)^2.$$

Наиболее простое аналитическое выражение зависимости  $\tau = f(\sigma)$  – это прямая линия [4]:

$$\tau = \operatorname{tg}\varphi \cdot \sigma + c,$$

где  $\varphi$  – угол внутреннего трения;  $\operatorname{tg}\varphi$  – коэффициент внутреннего трения;  $c$  – коэффициент сцепления, равный пределу прочности породы на срез при отсутствии нормальных напряжений.

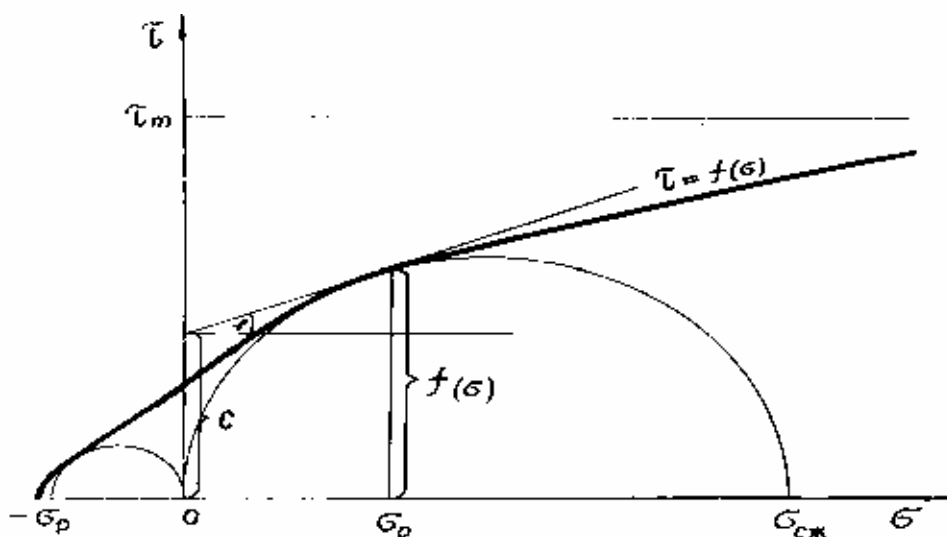


Рис. 1.

Для рыхлых горных пород и грунтов, не обладающих пределом прочности на растяжение и силами сцепления, уравнение огибающей Мора имеет вид прямой, исходящей из начала координат [2].

Условие прочности в линейной форме широко применяют в описании прочностных свойств горных пород при расчетах прочности и устойчивости породных массивов в сложном напряженном состоянии, так как применение сложных нелинейных зависимостей приводит к большим вычислительным трудностям при решении геомеханических задач [4-5].

Для определения  $\text{tg}\phi$  и  $c$  необходимо произвести два опыта на сжатие и растяжение или любые два других опыта. Уравнение огибающей или паспорт прочности горной породы запишется в виде:

$$\tau = \frac{\sigma_c - \sigma_p}{2\sqrt{\sigma_c \sigma_p}} \sigma + \frac{\sqrt{\sigma_c \sigma_p}}{2},$$

где  $\sigma_c$  – величина предела прочности на сжатие;  $\sigma_p$  – величина предела прочности на растяжение (рис. 2).

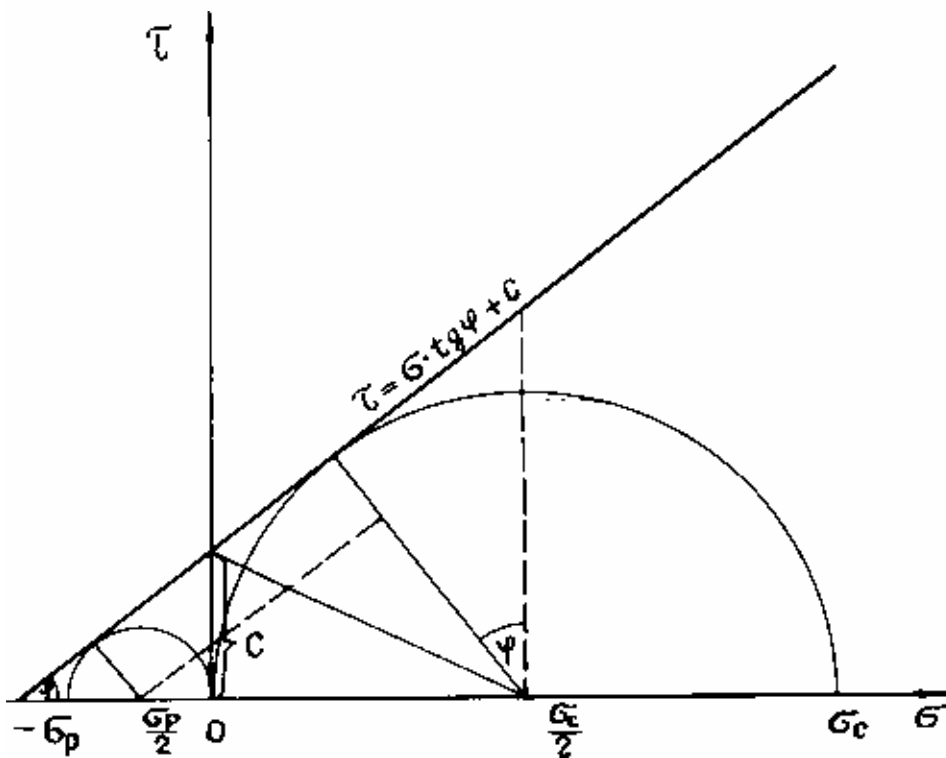


Рис. 2.

Отсюда

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\sigma_c - \sigma_p}{2\sqrt{\sigma_c \sigma_p}}; \quad c = \frac{\sqrt{\sigma_c \sigma_p}}{2}.$$

Практическое применение линейной огибающей кривой целесообразно только в ограниченном диапазоне нормальных напряжений порядка от  $\sigma = 0$  до  $(0,1-0,2)\sigma_c$ , так как за пределами этого диапазона возникают весьма существенные погрешности [6-8].

Для приближенного построения огибающей предельных кругов напряжений предлагались различного рода расчетные методы, основанные на простейших испытаниях прочности пород на сжатие, растяжение или срез [7-9]. В настоящее время нет единого мнения относительно применения того или иного критерия в практических расчетах разрушения горных пород [10]. Для сыпучих тел предельная огибающая имеет вид уравнения прямой, выходящей из начала координат  $(\sigma, \tau)$ , а для пластических тел – вид прямой, параллельной оси нормальных напряжений. Для горных пород, характеризующихся широким разнообразием твердых тел, возможные виды огибающих кривых находятся между этими двумя предельными случаями.

Расчетные методы построения огибающих кривых особенно полезны для приближенного определения угла внутреннего трения и сцепления горных пород, особенно в интервале нормальных напряжений от  $\sigma = 0$  до  $\sigma = 0,5\sigma_c$ , где такие методы имеют наименьшую погрешность [6]. В аналитических решениях механики горных пород необходимы значения угла внутреннего трения и ко-

эффицента сцепления, определяемые путем графической аппроксимации огибающей кругов Мора отрезком прямой в области нормальных напряжений  $0 \leq \sigma \leq \sigma_c$ . Однако графический метод получения параметров достаточно трудоемок и субъективен.

В работе [11] рассмотрен метод упрощенного вычисления угла внутреннего трения и коэффициента сцепления горных пород на основе уравнения огибающей к предельным кругам напряжений Мора, которое предложено М.М. Протодыяконовым в 1960 г. Это уравнение имеет следующий вид в декартовых координатах плоскости  $(\sigma, \tau)$ :

$$\tau = f(\sigma) = \tau_m \left[ \frac{(\sigma + \sigma'_p)^2}{(\sigma + \sigma'_p)^2 + a^2} \right]^{\frac{3}{8}}, \quad (1)$$

где  $\sigma'_p$  – предел прочности горной породы при всестороннем растяжении;  $a$  – параметр огибающей, определяющий ее крутизну;  $\tau_m$  – максимальное касательное напряжение.

Все три параметра имеют одинаковую размерность; для построения огибающей или "паспорта прочности" необходимы две характеристики: предел прочности на растяжение  $\sigma_p$  и сжатие  $\sigma_c$ .

После графического построения паспорта прочности определяют, опять же графическим путем, угол внутреннего трения  $\varphi$  и коэффициент сцепления  $c$  для интересующего интервала напряженных состояний. В этом случае аналитически угол внутреннего трения  $\varphi$  представляет собой угол наклона касательной кривой  $\tau = f(\sigma)$  к оси нормальных напряжений для данного конкретного напряженного состояния. Коэффициент сцепления  $c$  представляет собой величину отрезка, отсекаемого касательной к огибающей на оси напряжений  $\tau$ . Согласно уравнению (1), теоретически величина угла  $\varphi$  изменяется в пределах от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , а  $c$  – в диапазоне от  $f(0)$  до  $\tau_m$ .

Для практического использования этого метода построена подробная таблица [11], в которой искомые параметры  $\varphi$  и  $c$  определяются в зависимости только от соотношения  $\sigma_c/\sigma_p$ .

Предложенный метод позволяет значительно упростить вычисление параметров паспорта прочности горных пород  $\varphi$  и  $c$ , определять их, не прибегая к построению паспорта прочности, что является несомненным преимуществом, особенно при массовом определении таких параметров. Таблицы впервые были предложены в работе [11] и нашли широкое распространение в экспедициях и трестах для оценки предельных состояний горных пород на стадии геологоразведочных работ, а также в проектных организациях для определения поведения горных пород вблизи выработок при различных напряженных состояниях массива и расчетах устойчивости подземных сооружений различной формы и назначения.

С физической точки зрения угол внутреннего трения  $\varphi$  характеризует пластические свойства горной породы; коэффициент  $c$  – их вязкость. Если известно уравнение предельной огибающей к кругам напряжений Мора, значения  $\varphi$  и  $c$  можно выразить следующими формулами:

$$\begin{cases} \varphi = \operatorname{arctg} \frac{d\tau}{d\sigma}, & \frac{d\tau}{d\sigma} = \operatorname{tg}\varphi, \\ c = f(\sigma) - \sigma \frac{d\tau}{d\sigma}. \end{cases} \quad (2)$$

Параметры  $\varphi$  и  $c$  являются функциями нормальных напряжений  $\sigma$ .

В общем случае можно получить зависимость между  $\varphi$  и  $c$ , если известно конкретное уравнение огибающей  $\tau = f(\sigma)$ . Действительно, два уравнения (2) представляют собой параметрическую функциональную зависимость между  $\varphi$  и  $c$ . Роль параметра играет здесь  $\sigma$ , исключив который, мы можем получить явную функциональную связь между  $\varphi$  и  $c$  вида  $\varphi = \psi(c)$ . Возможность получения явной функциональной зависимости полностью определяется видом функции  $\tau = f(\sigma)$ . Если вид зависимости  $\operatorname{arctg} \frac{d\tau}{d\sigma} = \varphi$  достаточно прост, то поставленная задача решается сравнительно просто.

Графические и аналитические линеаризации огибающей, а также их линейное представление являются очень "грубыми" зависимостями, так как фактические огибающие, построенные по экспериментальным данным испытаний при объемном напряженном состоянии, обнаруживают существенную нелинейность. Эту особенность поведения огибающей можно учесть с помощью уравнения квадратичной параболы (рис. 3):

$$\tau^2 = 2p(\sigma + \sigma_p)$$

где  $p$  – параметр огибающей [7,8].

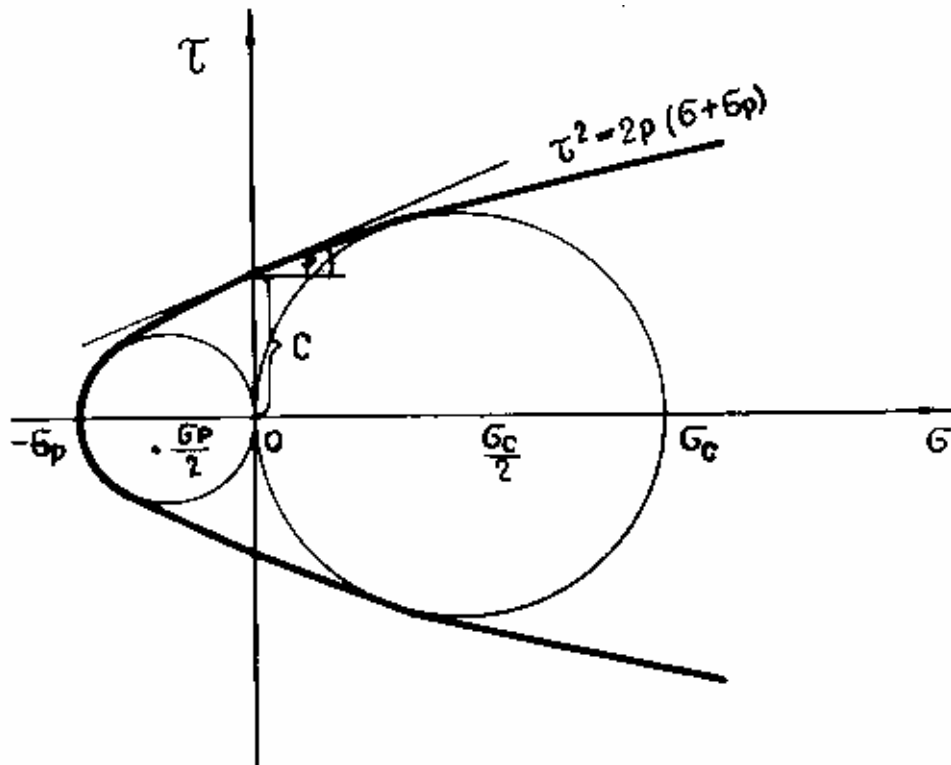


Рис. 3

Для определения постоянной  $p$  необходим, кроме растяжения, еще один опыт, например, на сжатие. Уравнение огибающей в этом случае будет

$$\tau = \left\{ \left[ (\sigma_c + 2\sigma_p) - 2\sqrt{\sigma_p(\sigma_c + \sigma_p)} \right] (\sigma + \sigma_p) \right\}^{1/2}.$$

Коэффициент внутреннего трения для  $\sigma = (0 - 0,5)\sigma_c$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{\sigma_c}{\sigma_p} + 1} - 1 \right).$$

Коэффициент сцепления

$$c = \sqrt{\sigma_p(\sigma_c + \sigma_p)} - \sigma_p.$$

Полученные зависимости позволяют определять основные параметры паспорта прочности  $\varphi$  и  $c$  с учетом нелинейного характера предельных кругов напряжений Мора и для произвольного напряженного состояния горной породы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушко В.Т., Виноградов В.В. Разрушение горных пород и прогнозирование проявлений горного давления. - М.: Недра, 1982. - 192 с.
2. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика горных пород. - М.: Недра, 1975. - 271 с.
3. Паспорта прочности горных пород и методы их определения / М.М. Протодяконов, М.И. Койфман, С.Е. Чирков, М.Ф. Кунтыш, Р.И. Тедер. - М.: Наука, 1964. - 80 с.
4. Джегер Ч. Механика горных пород и инженерные сооружения. - М.: Мир, 1975. - 256 с.
5. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. - М.: Недра, 1979. - 301 с.
6. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В. Матвеев, Г.В. Михеев, А.Б. Фадеев. - М.: Недра, 1979. - 269 с.
7. Кузнецов Г.Н. Механические свойства горных пород. - М.: Углетехиздат, 1947. - 179 с.
8. Мюллер Л. Инженерная геология. Механика скальных массивов. - М.: Мир, 1971. - 255 с.
9. Тедер Р.И., Кунтыш М.Ф. Паспорта прочности горных пород и методы их построения / В кн.: Свойства горных пород и методы их определения. Под ред. М.М. Протодяконова. - М.: Недра, 1969. - С. 164-177.
10. Алексеев А.Д., Недодаев Н.В. Предельное состояние горных пород. - Киев: Наукова думка, 1982. - 200 с.
11. Результаты изучения прочностных и деформационных свойств горных пород Западного Донбасса / В.Т. Глушко и др. - Киев: Наукова думка, 1969. - 44 с.

**УДК 622.023**

**В.Ю. Куклин, Н.Т. Бобро**

### **ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД**

Виконана оцінка реологічної здатності гірських порід. Наведені кореляційні залежності для наближеної оцінки одних параметрів через інші.

### **APPROXIMATE VALUATION OF THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF THE ROCK**

Valuation of the rheological properties of the rock are carried out. Correlation dependences for approximate valuation each parameters over other are received.

Приведены результаты определения реологических параметров по двум геолого-промышленным районам. Выполнена оценка реологических характеристик углевмещающих горных пород этих районов. Приведены корреляционные зависимости для приближенной оценки реологических свойств горных пород по результатам менее трудоемких испытаний.

В отделе механики горных пород ИГТМ НАН Украины реологическим испытаниям подвергнуто более 130 проб горных пород, которые отобраны из шахт и скважин разведочного бурения Новомосковского и Павлоградско-Петропавловского геологопромышленных районов. Углевмещающие породы этих районов представлены, в основном, литологическими разностями: аргиллитами, алевролитами, песчаниками.

Испытания пород и обработка результатов испытаний осуществлялись по методике, изложенной в [1], в которой предусматривается проведение основных и вспомогательных опытов. По данным вспомогательных опытов оценивается способность пород к развитию деформаций ползучести. По результатам основных опытов устанавливается закон деформирования пород во времени и определяются реологические параметры. Экспериментальные кривые ползучести обработаны с помощью уравнения наследственного типа [1]