

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ГОРНЫХ ПРОЦЕССОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по определению эффективной поверхностной энергии горных
пород

г. ДОНЕЦК

Методические указания по определению эффективной поверхностной энергии горных пород / А. Д. Алексеев, В. Н. Ревва, Л. Л. Бачурин, А. В. Молодецкий, Е. В. Усатюк. – Донецк: ИФГП НАН Украины, 2009. – 23 с.

Представлены разработанные в ИФГП НАНУ и рекомендованные к применению при прогнозе выбросоопасности песчаников по эффективной поверхностной энергии способы экспериментального определения эффективной поверхностной энергии горных пород. Излагаются сущность и назначение методик, даны рекомендации о порядке и технике проведения испытаний, обработке экспериментальных данных.

Методические указания разработаны д. т. н. А. Д. Алексеевым, д. т. н. Реввой В. Н., инж. Бачуриным Л. Л., Молодецким А. В., Усатюком Е. В.

Предназначено для научно-исследовательских и учебных организаций, занимающихся изучением свойств горных пород и других твердых материалов.

ВВЕДЕНИЕ

В практике проектирования, строительства и эксплуатации угледобывающих предприятий огромное значение имеет прогнозирование свойств и состояния горного массива. Особенно большое значение данная проблема приобретает в связи с проявлением выбросоопасности углей и пород.

Одной из интегральных характеристик свойств пород является эффективная поверхностная энергия (ЭПЭ). Она характеризует сопротивляемость пород разрушению (трещиностойкость) и как энергетическая характеристика наиболее полно отражает изменчивость физических свойств пород в массиве от слоя к слою и в пределах отдельного слоя. Неоднородное строение массива обуславливает неоднородное напряженное состояние и наличие концентраций напряжений в локализованных областях на границе раздела пород с различной трещиностойкостью.

В хрупких породах, пластическими деформациями в которых можно пренебречь, ЭПЭ является не только характеристикой трещиностойкости, но и динамичности разрушения (предрасположенности к выбросам). Это позволяет по величине ЭПЭ пород прогнозировать их выбросоопасность.

В основе рассматриваемых методик лежат теоретические решения задач механики хрупкого разрушения для краевых трещин в образцах горных пород.

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Основное назначение рассматриваемых методик – определение ЭПЭ для прогноза выбросоопасности песчаников (п. 6.3.9.5 СОУ [1]).

Способ прогноза выбросов пород по их ЭПЭ может служить как региональным способом прогноза на стадии геологоразведочных работ при разведке и доразведке шахтных полей скважинами, пробуренными с поверхности, так и в качестве локального способа прогноза при проведении подземных горных выработок путем бурения скважин из забоя выработок. При этом длина скважин и их диаметр не ограничиваются. Основным фактором, определяющим успешное применение способа, является выход керна при бурении скважин не менее 75—80 %.

Работы по определению ЭПЭ выполняются в лабораторных условиях.

2 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Способность материала сопротивляться росту трещин характеризуют ряд параметров. К ним относятся:

- эффективная работа разрушения G_c ;
- критический коэффициент интенсивности напряжений K_c , а также вязкость разрушения K_{IC} и вязкость скольжения K_{2C} ;
- упругопластическая вязкость разрушения J_{IC} .

В большинстве реальных тел, в том числе в горных породах, при сравнительно низких напряжениях (гораздо ниже предела теоретической прочности $\sigma_{теор.}$), начинается пластическая деформация. Поэтому в местах с повышенными напряжениями (например, у вершины трещины) пластическая деформация может начаться раньше разрушения и существенно изменить его характер.

Позволяет учесть этот факт параметр упругопластической вязкости разрушения, выражаемый также через величину эффективной поверхностной энергии (ЭПЭ), которая является интегральной энергетической характеристикой свойств материала и характеризует также динамичность разрушения.

Поверхностная энергия твердого тела γ связана с вязкостью разрушения функциональной зависимостью:

$$\gamma = \frac{K_{IC}^2}{2E} (1 - \nu^2), \quad (1)$$

где E – модуль упругости, МПа; ν – коэффициент Пуассона; K_{IC}^2 – вязкость разрушения.

Скалярные коэффициенты интенсивности напряжений K_I , K_{II} и K_{III} в соотношении с вязкостью разрушения K_{IC}^2 определяют критерий развития трещины в сложном напряженном состоянии:

$$K_I^2 + K_{II}^2 + \frac{K_{III}^2}{1 - \nu} = K_{IC}^2. \quad (2)$$

Соответственно существуют различные подходы к экспериментальному определению ЭПЭ: 1) рассматривающие энергетические затраты на разрушение материала, 2) предполагающие получение критических коэффициентов интенсивности напряжений.

3 ПОРЯДОК ОТБОРА ПРОБ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ

Эффективная поверхностная энергия определяется по результатам испытаний не менее трех образцов. Для их изготовления из керна разведочной скважины отбирается образцовая проба в виде куска керна длиной 150—200 мм. Если керн при извлечении из массива делится на диски, отбирается несколько дисков общей длиной 150—200 мм. Отбор проб производится в скважинах, пробуренных вкрест простирания (в кварцшлажных выработках), с каждого метра; в скважинах, пробуренных по простиранию — через 2,5 м.

При потере керна в отдельных интервалах последние считаются потенциально выбросоопасными.

4 МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ ПОРОД

Способ прогноза выбросоопасности пород основан на экспериментальном определении величин ЭПЭ. Параллельно находятся величины модуля упругости (модуль Юнга, модуль деформации) и коэффициента Пуассона (коэффициент поперечной деформации).

Статический модуль упругости и коэффициент Пуассона определяются по стандартной методике при сжатии и растяжении образцов. Необходимым условием прогноза является нахождение модуля упругости и ЭПЭ одним и тем же методом для всех проб.

Для определения абсолютной величины ЭПЭ применяют методы изгиба балок, раскалывания либо разрыва дисков с отверстием.

4.1 Определение модуля упругости

Определение модуля упругости при одноосном сжатии осуществляется в соответствии с ГОСТ 28985—91 исходя из устанавливаемой в процессе испытаний зависимости «напряжение – деформация» [2].

При определении модуля упругости при сжатии из керна изготавливаются образцы цилиндрической формы со строго параллельными торцами при соотношении длины образца к диаметру $2_{\pm 0,1} \cdot 1$, а из штуфов — образцы призматической формы размером с таким же соотношением высоты образца к стороне квадрата в основании. Диаметр цилиндра (сторона квадрата) – в пределах 30...90 мм.

Сжимающая нагрузка доводится до 50—60 % от разрушающей. Деформация образца фиксируется как при нагружении, так и при разгрузке.

Измерение деформаций начинают при нагрузке, составляющей 5 % от разрушающей. Модуль упругости находится по формуле

$$E = \frac{(P_K - P_H)h}{F\Delta h}, \quad (1.3)$$

где P_K и P_H — конечная и начальная нагрузки на образец, кг; h — высота образца до приложения нагрузки, см; Δh — абсолютная продольная деформация при изменении нагрузки от P_H до P_K , см; F — площадь сечения образца до приложения нагрузки, см².

При определении модуля упругости при растяжении образцов применяется способ раскалывания цилиндрических образцов сжимающей нагрузкой по образующей («бразильский метод»). Для этого из керна изготавливают цилиндрические образцы с отношением длины образца к диаметру 1:1. Образец нагружается равномерно распределенной нагрузкой, приложенной к диаметрально противоположным образующим образца (рис. 1). Фиксируется разрушающая нагрузка, горизонтальная деформация (растяжения) и вертикальная деформация (сжатия).

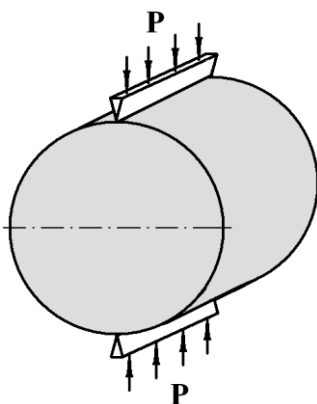


Рис. 1 – Схема определения модуля упругости «бразильским» методом.

Модуль упругости определяется по формуле:

$$E = \frac{-6P(1+\nu)(1-2\nu)}{\pi dl \left[(1-\nu)\varepsilon_y + \nu\varepsilon_x \right]}, \quad (1.4)$$

где P — приложенная нагрузка, кг; d — диаметр образца, см; l — длина образца, см; ε_y — вертикальная деформация (сжатия); ε_x — горизонтальная деформация (растяжения); ν — коэффициент Пуассона

$$\nu = \frac{\varepsilon_y + 3\varepsilon_x}{2(\varepsilon_y - \varepsilon_x)}. \quad (1.5)$$

4.2 Определение ЭПЭ

4.2.1 Инженерный метод

При наличии штучных проб применяется инженерный метод определения эффективной поверхностной энергии [3]. Образцы изготавливаются в виде балочек длиной 100—150 мм с прямоугольной формой сечения (25×8 мм). В балочке абразивным или алмазным диском или надфилем нарезается искусственная трещина, выходящая на поверхность, глубиной более 0,2 высоты балочки. Причем радиус устья трещины должен быть не более 0,5 мм. Изгиб балочки осуществляется моментом силы P , приложенной в плоскости балочки (рис. 2).

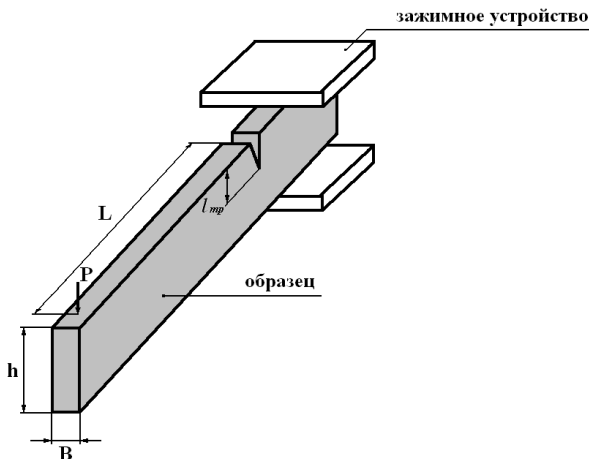


Рис. 2 — Схема нагружения балочного образца

Эффективная поверхностная энергия определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{\pi P^2 L^2 f(\lambda)}{E h^3 B^2} \quad (1.6)$$

где L — плечо действия нагрузки P , см; B — толщина образца, см; h — высота образца, см; $\lambda = \frac{l_{mp}}{h}$ — относительная длина трещины; $f(\lambda)$ — функция относительной длины трещины определяется по номограмме (рис. 3) или по формуле:

$$f(\lambda) = 939,67 \cdot \lambda^4 - 686,9 \cdot \lambda^3 + 187,01 \cdot \lambda^2 + 1,4383 \cdot \lambda. \quad (1.7)$$

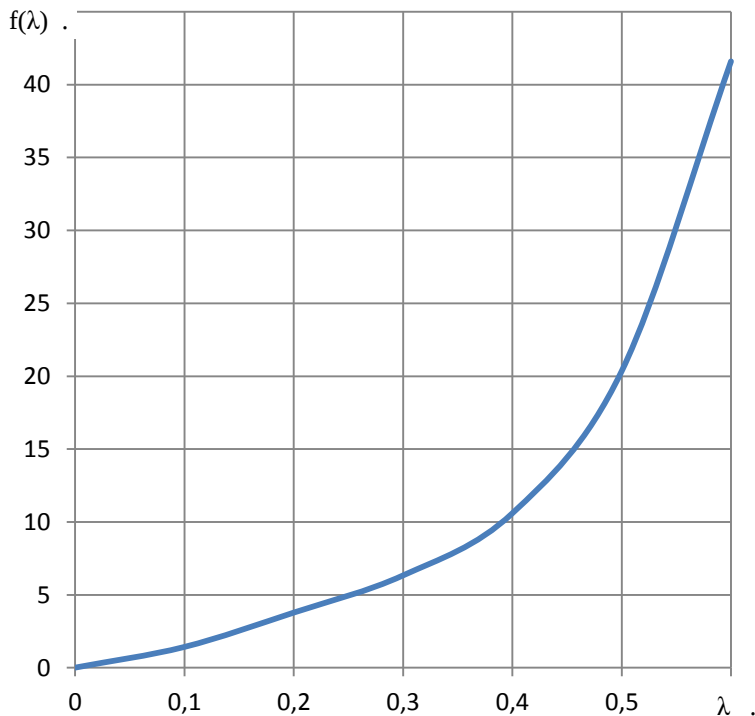


Рис. 3 – Номограмма для определения функции $f(\lambda)$.

4.2.2 Метод раскалывания дисков

Из всех известных способов определения абсолютной величины ЭПЭ наиболее технологичными являются способы, использующие дисковые образцы из керновых проб. При этом изготовление дисков осуществляется путем распиливания керна по нормали к его продольной оси. Одним из таких является метод раскалывания дисков с отверстием [3]. Отношение диаметра

керна к толщине диска должно быть больше двух ($d/H > 2$). В центре диска твердосплавным сверлом просверливается отверстие диаметром 4...9 мм, затем с помощью алмазного круга диаметром 20 мм или плоского алмазного надфиля с заостренными ребрами образуется искусственная трещина длиной 0,2—0,5 диаметра. Диск разрушается путем сжатия по образующей соосными штоками, действующими по направлению длинной оси трещины (рис. 4).

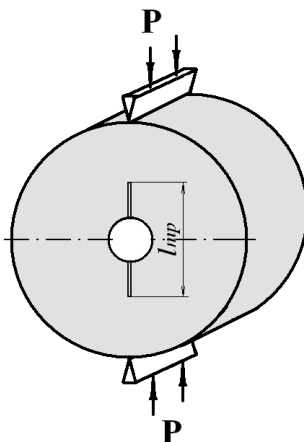


Рис. 4 – Схема раскалывания диска.

При раскалывании дисков фиксируется усилие P на нажимном штоке. Эффективная поверхностная энергия определяется по формуле

$$\gamma = \frac{P^2 a^2}{\pi E H^2 D}, \quad (1.8)$$

где $a = \left(1 + 1,5 \frac{l_{mp}^2}{D^2}\right) \sqrt{\frac{l_{mp}}{D}}$; P — разрушающая нагрузка, кг; H — толщина диска, см; D — диаметр диска, см; l_{mp} — длина трещины, см.

4.2.3 Метод разрыва дисков

Для определения ЭПЭ используется также метод центробежного разрыва дисков с отверстием по схеме [5]. При этом изготовление дисков осуществляется путем распиливания керна по нормали к его продольной оси. Отно-

шение диаметра керна к его толщине должно быть больше двух $\left(2r_0/b > 2\right)$.

В центре диска высверливается сквозное отверстие диаметром 20 мм, причем сверление может использоваться для получения данных о его энергоемкости с дальнейшим использованием при оценке трещиностойкости (см. п. 4.2.5).

В отверстие вставляется металлическая матрица с внешней цилиндрической и внутренней клиновидной поверхностью. Матрица состоит из двух или более сегментов; диаметр цилиндра должен быть достаточно близким к диаметру отверстия в диске – чтобы размещаться в нем без люфта.

В матрицу вставляется клиновидный пуансон с профилем, повторяющим внутренний профиль матрицы. В результате приложения усилия к пуансону происходит расхождение сегментов матрицы, которые передают нагрузку на стенки отверстия в диске (рис. 5).

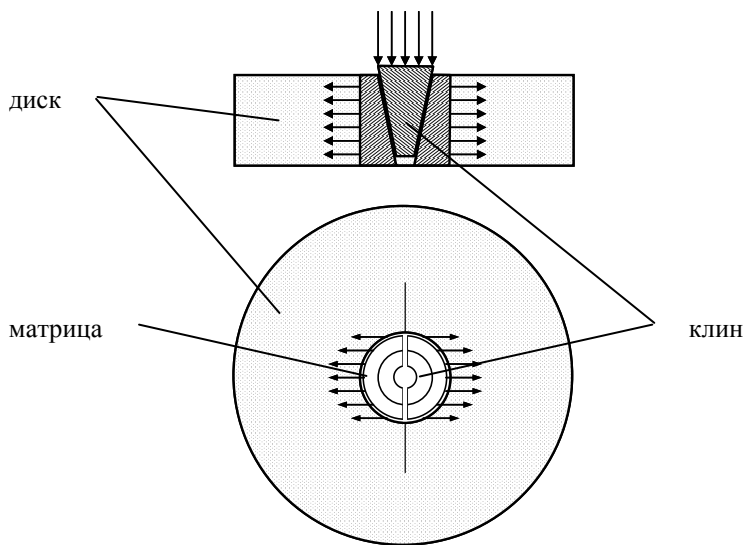


Рис. 5 – Схема ориентированного разрыва диска.

При использовании двухсегментной симметричной матрицы, возможно ориентированное приложение нагрузки. В таком случае также желательно выполнить надрезы по диаметру отверстия, что позволит исследовать условия распространения трещины в определенном направлении. Соответственно, возможно исследование трещиностойкости с учетом анизотропии материала образца. Наличие надрезов (пропиллов) необходимо также при проведении равновесных испытаний с регистрацией процесса развития трещины.

При определении *критических* значений характеристик трещиностойкости породы интерес представляет минимальное значение вязкости разрушения, независимо от направления распространения трещины – т.е. скалярная оценка трещиностойкости образца. В таком случае следует использовать матрицу с большим количеством сегментов – для обеспечения неориентированного и как можно более равномерного распределения усилий по периметру отверстия (рис. 6). Также отверстие не должно иметь заметных дефектов обработки по внутреннему периметру – это может повлиять на достоверность результата.

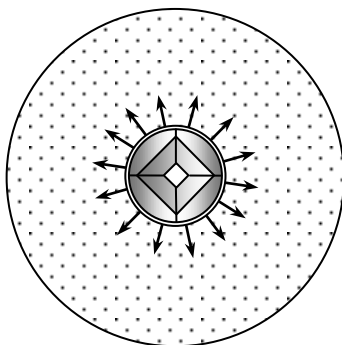


Рис. 6 – Схема разрыва диска без надрезов.

При разрыве дисков фиксируется усилие P на нажимном штоке.

ЭПЭ при известном разрушающем усилии для четырехсегментной матрицы вычисляется по следующему выражению:

$$\gamma = \frac{1}{8\pi} \frac{(1-\nu^2)}{E} f^2 P^2, \quad (1.9)$$

где E – модуль упругости, Па; ν – коэффициент Пуассона, P – разрушающее усилие, Н; $f = F_I \frac{\tan \theta}{r_1 b} \sqrt{a}$ – геометрический параметр, F_I – поправочная

функция геометрических характеристик образца – $\beta = r_0/r_1$ и $\alpha = a/r_1$; a – глубина краевой радиальной трещины или средний размер естественных микротрещин в материале образца, м; θ – угол у основания конуса (штифта), град.; r_1 – внутренний радиус, м; b – толщина диска, м.

$$F_I(\alpha, \beta) = A(\beta) \cdot \alpha^2 + B(\beta) \cdot \alpha + 1, \quad (1.10)$$

$$A(\beta) = 30.353 \cdot \beta^{-5.382} + 0.494 \quad (1.11)$$

$$B(\beta) = 21.9 \cdot \beta^{-6.634} - 0.772. \quad (1.12)$$

Образец устанавливается на основании или опорной площадке соосно с отверстием в основании. В отверстие в образце в собранном виде вкладывается матрица. В матрицу устанавливается клин, на шток которого опускается путем вращения вала пружинный блок до момента контакта нижней опоры с клином. В этот момент фиксируется положение замерной планки.

Путем медленного вращения вала создается усилие, вдавливающее клин в матрицу. Испытание продолжается до момента разрыва диска. Усилие разрыва определяется исходя из величины сжатия пружины на момент разрыва, которое устанавливается по перемещению планки.

Разрушающее усилие определяется следующим образом: измеряется деформация пружины Δl на момент разрушения образца; по известной жесткости пружины определяется вертикальное усилие, приложенное к клину в момент разрушения; радиальные силы, действовавшие на внутреннюю поверхность образца, вычисляются исходя из геометрии матрицы, с учетом сил трения.

4.2.4 Метод определения ЭПЭ при объемном сжатии

Наиболее точным является способ определения ЭПЭ горных пород при объемном сжатии [4].

На камнерезном станке из одного и того же куска породы изготавливаются два идентичных образца цилиндрической или кубической формы с различными геометрическими размерами. Основание образца ориентируют параллельно слоистости. Образцы разрушают в объемном поле сжимающих напряжений на специальном объемном прессе (стабилометр), по одной и той же схеме нагружения $\sigma_1 > \sigma_2 \geq \sigma_3$, моделирующей реальные условия массива горных пород, Например, пусть

$$\sigma_1 > \sigma_2 \geq \sigma_3, \quad (1.13)$$

$$\text{где } \sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}, \sigma_3 = \lambda \sigma_1, \lambda = \frac{\nu}{1-\nu}, \sigma_3 = \rho g H$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные сжимающие напряжения, Па; λ – коэффициент бокового распора; ρ – плотность пород, кг/м³; ν – коэффициент Пуассона; g – ускорение свободного падения, м/с²; H – глубина залегания массива, м.

Минимальная компонента напряжений σ_3 определяется весом вышележащих пород и равна $\sigma_3 = \rho g H$. Промежуточное напряжение σ_2 обеспечивает вид напряженного состояния, обобщенный сдвиг ($\mu_\sigma = 0$), т.е. $\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$, а максимальное напряжение σ_1 определяется при разрушении образца.

Фиксируются полые диаграммы «Среднее напряжение – объемная деформация» и «Касательное напряжение – касательная деформация» на октаэдрической площадке для обоих образцов. Плотность энергии деформирования есть сумма плотностей энергии изменения объема и энергии изменения формы, которые определяются с помощью планиметра как площади под соответствующими диаграммами. Увеличение объема образца при пластическом разупрочнении (дилатансии) $\Delta\theta$ определяют как разницу между предельным уменьшением объема при сжатии и остаточной объемной деформации после разрушения, а величину вновь образованной поверхности определяют с помощью ситового анализа. По полученным данным определяют величину удельной поверхности разрушенного материала S_V как отношение вновь образованной поверхности ΔS_n к абсолютному увеличению объема образца при пластическом разупрочнении (дилатансии) $\Delta V_{nl} = \Delta\theta \cdot V$.

$$S_V = \frac{\Delta S_n}{\Delta V_{nl}}, \text{ м}^{-1}. \quad (1.14)$$

Удельную поверхностную энергию разрушения породы определяют как отношение разницы плотностей энергии деформирования двух образцов ΔW и разницы их удельных поверхностей ΔS :

$$\gamma = \frac{\Delta W}{\Delta S_V} = \frac{W_2 - W_1}{S_{V2} - S_{V1}}, \text{ Дж/м}^2, \quad (1.15)$$

где W_1, W_2 – суммарная плотность энергии деформирования и разрушения соответственно образцов 1 и 2, Дж/м³ (определяется по сумме площадей соответствующих диаграмм); S_{V1}, S_{V2} – удельная поверхность разрушенного материала соответственно для образцов 1 и 2, м⁻¹ (определяется с помощью ситового анализа).

4.2.5 Экспресс-методы

В производственных условиях можно также применять экспресс-методы, позволяющие определять на образцах полуправильной формы относительные значения ЭПЭ. Наиболее технологичными из них являются методы абразивного шлифования и сверления образцов [6, 7], основанные на сравнении размеров поверхностей или объемов частиц, сошлифованных или высверленных с эталонного и исследуемого образцов.

При шлифовании с постоянной силой прижатия образцов к абразивному кругу ЭПЭ порода определяется по формуле

$$\gamma_2 = \gamma_1 \frac{a_2 V_1}{a_1 V_2}, \quad (1.16)$$

где γ_1 — ЭПЭ эталонного образца; a_1, a_2 — размер сошлифованных частиц; V_1, V_2 — сошлифованные объемы.

Размеры сошлифованных частиц оцениваются путем ситового анализа, а объемы путем взвешивания образцов на аналитических весах до и после шлифования. Шлифование производится в течение 1—2 мин.

В случае определения относительной величины ЭПЭ методом сверления пород должны выдерживаться постоянными следующие параметры: усилие подачи, скорость вращения, угол и качество заточки сверла, время сверления (1 мин). ЭПЭ вычисляется по формуле

$$\gamma_2 = \gamma_1 \frac{S_1 P_2}{S_2 P_1}, \quad (1.17)$$

где S_2 и S_1 — суммарная поверхность частиц порошков исследуемого и эталонного образцов; P_2 и P_1 — потребляемая из сети мощность при сверлении исследуемого и эталонного образцов.

Потребляемую мощность при сверлении определяют с помощью ваттметра, суммарную площадь поверхности порошка — с помощью прибора ПСХ-4 или путём ситового анализа [8].

5 ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ

Изготовление образцов для определения ЭПЭ и модуля упругости производится на камнерезном станке с алмазными дисками толщиной 2—3 мм и диаметром 250—300 мм. Для нарезки трещин в образцах применяют алмазные диски малого диаметра 60—100 мм и 20 мм толщиной 0,3—0,5 мм. Диски для нарезки трещин устанавливаются на заточном станке или бормашине.

Для определения модуля упругости при сжатии и растяжении образцов, а также для нахождения абсолютных величин ЭПЭ методом раскалывания дисков с трещиной применяется гидравлический или механический пресс, развивающий усилие 5—10 т. Для фиксирования усилий с точностью до 10 кг пресс должен быть снабжен манометром или динамометром, а для фиксирования абсолютных деформаций при определении модуля упругости — индикатором часового типа, тензодатчиками со шлейфовым осциллографом или самопишущим устройством.

При нахождении абсолютных значений ЭПЭ инженерным методом применяются гидравлические или механические прессы, снабжённые манометром или динамометром для фиксирования усилий с предельной величиной 20—50 кг, а также специальным устройством для фиксирования образцов.

Для определения ЭПЭ методом объёмного сжатия используется установка неравнокомпонентного трехосного сжатия (УНТС), разработанная и используемая в ИФГП НАНУ [9].

Аксометрическая проекция рабочего органа УНТС приведена на рис. 7. На станине неподвижно монтируются опоры 5, 11, 16, обеспечивающие передвижение рабочих воспринимающих плит 4, 10, 15 по направляющим. Нагружающее устройство состоит из гидроцилиндров, расположенных по 3-м взаимноперпендикулярным осям, соединительных звеньев с которыми скреплены пяты 2, 7, 14, входящие в рабочий орган. Пяты передают усилие от нагружающего устройства к нажимным плитам 3, 6, 12 и далее на образец 8, кроме того, служат направляющими для рабочих плит. Рабочие воспринимающие плиты 4, 10, 15 и нажимные плиты 3, 6, 12 снабжены пружинами 9.

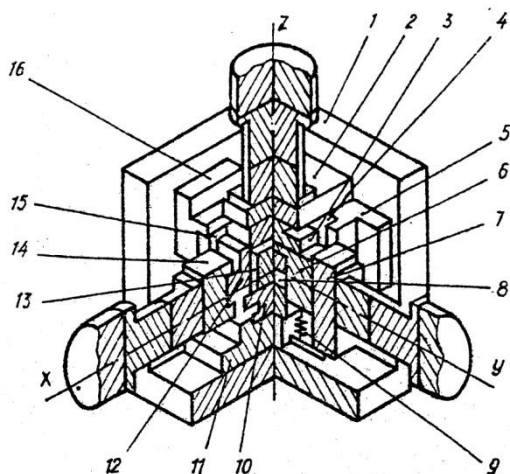


Рис. 7. Аксонометрическая проекция рабочего органа установки трехосного напряженного состояния.

Описанное устройство работает следующим образом. При движении штоков гидроцилиндров по трем взаимноперпендикулярным осям по направлению к образцу 8 нажимные рабочие плиты 3, 6, 12 располагаются с заходом друг относительно друга и рабочих воспринимающих плит 4, 10, 15. Например, нажимная плита 6 (ось y) скользит по нажимной плите 3 и воспринимающей 4. Одновременно плита 6 соприкасается с плитой 12 и воспринимающей 10, перемещая их по направляющим пяты 14 и соответственно опоры 11. При этом сжимаются пружины нажимной плиты 12 и воспринимающей 10, которые своим усилием расходятся обеспечивают постоянный контакт между нажимной плитой 6 и воспринимающей 10. Аналогичная картина наблюдается при перемещении двух других штоков гидроцилиндров (по оси x и z). При этом образуется замкнутая камера 13, в которой находится испытываемый образец. Давление на образец осуществляется нажимными плитами 3, 6, 12, с одной стороны, и воспринимающими 4, 10, 15 с другой - по всей плоскости соприкосновения этих плит с соответствующими гранями образца.

При нахождении абсолютных значений ЭПЭ методом разрыва дисков используется устройство [10], работающее по принципу прессы (рис. 8), с передачей усилия на внутреннюю поверхность отверстия в образце при помощи четырехгранного клина и симметричной ему матрицы. Вдавливание клина в матрицу приводит к разрушению образца под действием центробежных усилий. Привод - ручной, с винтовой подачей штока. При широком диапазоне

изменения ЭПЭ испытуемых образцов пород необходимо иметь набор пружин с различными характеристиками жесткости.

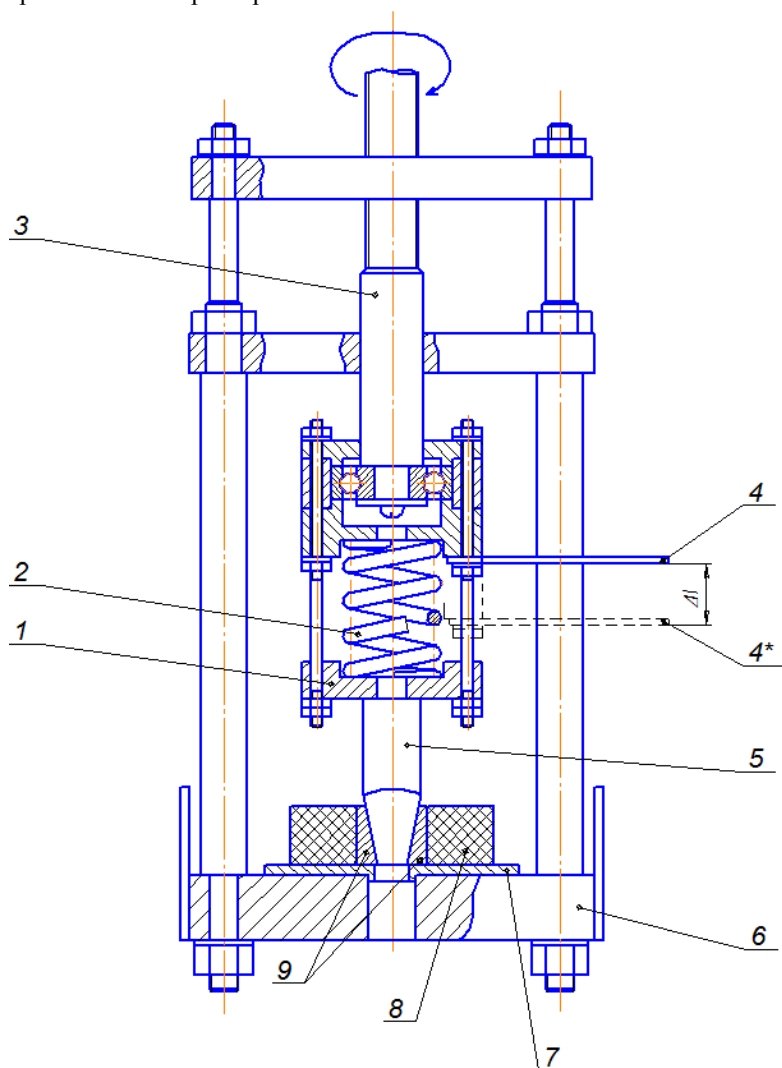


Рис. 8 – Устройство для разрыва дисков: 1– нижняя опора пружинного блока, 2 – пружина, 3 – вал, 4 - замерная планка в исходном положении, 4* – замерная планка в момент разрушения образца, 5 – клин, 6 – Основание (круг), 7 – пластина для сборки, 8 – образец породы, 9 – матрица.

Для определения относительных величин ЭПЭ методом сверления при-

меняется сверлильный станок настольного типа (рис. 9), снабжённый приспособлением для крепления образца, динамометром для измерения силы прижатия сверла к образцу, ваттметром, подключённым к клеммам двигателя станка. Этот же станок, дополнительно снабжённый приспособлением для крепления шлифовального круга, применяется при методе абразивного шлифования.

Для определения объёмов, поверхностей и размеров частиц сошлифованной или высверленной мелочи применяются аналитические весы, набор сит или прибор ПСХ-4.

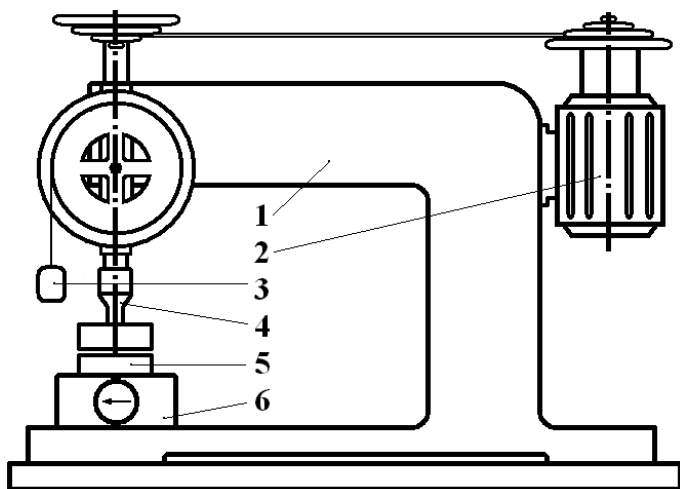


Рис. 9 – Сверлильный станок для определения ЭПЭ: 1 – станина, 2 – двигатель, 3 – груз, 4 – сверло, 5 – приспособление для крепления образца, 6 – динамометр.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ : СОУ 10.1.00174088.011-2005. – [Чинний від 2006-04-01] – К. : Мінвуглепром України, 2005. – (Стандарт Мінвуглепрому України).
2. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии : ГОСТ 28985—91. – [Введ. 01.07.92]. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 11 с. – (Межгосударственный стандарт)..
3. Алексеев А. Д., Чехова Г. Г. Энергия разрушения выбросоопасных песчанников. – В кн.: Механика и разрушение горных пород. – Киев: Наукова думка, 1977, с. 156—159.
4. Способ определения удельной поверхностной энергии горных пород: А.с. 1747992 СССР, МКИ G 01 N3/00 / А. Д. Алексеев, В. Н. Ревва, Н. А. Рязанцев, Г. П. Стариков (СССР). – № 4797578/28; Заявлено 28.11.89; Опубл. 15.07.92, Бюл. № 26. – 4 с.
5. Пат. 39916 Україна, МПК (2009) G 01 N 3/00. Спосіб визначення тріщиностійкості гірських порід / Бачурін Л. Л., Ревва В. М., Кольчик Є. І.; заявник і патентовласник Інститут фізики гірничих процесів НАН України. – № а 2007 01888 ; заявл. 23.02.07 ; опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6.
6. Кузнецов В. Д. Поверхностная энергия твердых тел. – М.: ГИТЛ, 1954. – 220 с.
7. Кузнецов В. Д., Савицкий К. В. Метод сверления, как метод физико-химического анализа. – Труды Сиб. физ.-тех. ин-та. – Т.5. – Вып. 3. – 1939.
8. Дерягин Б. З., Захарова Н. Н., Талаев М. З. Прибор для определения удельной поверхности порошковых и дисперсных тел по сопротивлению течению разреженного воздуха. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – 20 с.
9. Установка для испытания образцов на трехосное сжатие: А.с. 394692 (СССР) / Алексеев А.Д., Осыка Е.И., Тодосейчук А.Д. (СССР). – Б.И. – 1973. – №34. – с. 139.
10. Бачурін Л. Л. Пристрій для визначення ефективної поверхневої енергії гірських порід // Зб. матеріалів наук.-практ. конф. «Проблеми гірничої технології» - Красноармійськ, 28 листопада 2008 р., КП ДонНТУ. – С. 95 – 97.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	3
2 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ	4
3 ПОРЯДОК ОТБОРА ПРОБ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ	5
4 МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ ПОРОД	5
4.1 Определение модуля упругости.....	5
4.2 Определение ЭПЭ	7
5 ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ	15
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	19
Содержание	20

Анатолий Дмитриевич Алексеев
Владимир Николаевич Ревва
Леонид Леонидович Бачурин
Андрей Владимирович Молодецкий
Евгений Викторович Усатюк

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СПОСОБА ПРОГНО-
ЗА ВЫБРОСООПАСНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ИХ ЭФФЕКТИВНОЙ
ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ