

УДК 611.831.4

СТАРИКОВ Т.П. (ИФГП НАНУ), ГРЕБЕНКИНА А.С. (ДонНТУ)

### **ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РАЗГРУЗКИ УГОЛЬНОГО МАССИВА НА ИЗМЕНЕНИЯ В ТРЕЩИНОВАТО-ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЕ УГЛЯ**

*Установлено, что скорость разгрузки угольного пласта со стороны очистного забоя от горного давления изменяет механизм разрушения угля в ее призабойной части пласта, а волна разгрузки способствует превращению части закрытых пор в трещины.*

При решении практических задач по разработке угольных месторождений приходится встречаться с многообразием условий нагружения и разгрузки углей и горных пород. В большинстве случаев их реакция на одинаковые по величине, но различные по времени приложения нагрузки различна. В настоящее время значительное количество работ [1-4] посвящено исследованию влияния скорости нагружения на предельные прочность и деформируемость горных пород и углей. Однако, применительно к угольным пластам, принципиальное значение имеет оценка степени изменения трещиновато-пористой структуры углей в зависимости от скорости разгрузки одного из промежуточных составляющих тензора напряжений. В первую очередь это важно, поскольку уголь является природным коллектором метана и от того вносит ли разгрузка изменения в структуру угля, будет зависеть кинетика десорбции его в очистные и подготовительные выработки. Поэтому целью экспериментальных исследований является установление влияния скорости разгрузки угольного массива на степень изменения трещиновато-пористой структуры угля в условиях, моделирующих состояние призабойной зоны пласта на глубинах разработки 800-1000 м. Экспериментальные исследования проводились на установке трехосного нагружения (УТС) [5,6], обеспечивающей независимое нагружение по трем осям, на реальных угольных образцах, что позволяет воспроизвести все основные характеристики, закономерности и эффекты, связанные с явлениями в натуральных условиях.

Давление, передаваемое на образец по каждой оси, регистрировалось по образцовым манометрам, а смещение (деформация) образцов — по индикаторам часового типа с точностью 0,01 мм. Эти данные использовались для расчета напряжений и деформаций.

Поддержание давления по каждой грани образца на заданном уровне достигалось путем периодического включения насосов высокого давления или, наоборот, сброса давления в гидроцилиндрах.

Для исследований на УТС использовал образцы кубической формы с размером г<sub>1</sub> ребра 55-60 мм, которые изготавливались кварцерапиловочном станке, обеспечивающего параллельность и взаимную перпендикулярность граней с отклонением не более 0,003 мм.

Для уменьшения разброса данных испытаний образцы подбирались по возможности с одинаковым объемным весом, т.е. с одинаковой пористостью. Различие удельных весов отдельных образцов не превышало 5%.

Изучение влияния скорости нагрузки на процессы, происходящие в трещиновато-пористой структуре, производилось изменению газопроницаемости и по степени разрушенности угля. При разгрузке части грани образца при двух скоростях разгрузки использовался уголь пласта  $h^1_6$  Смоляниновский шахты им. А.А. Скочинского. Перед проведением определения газопроницаемости угольный образец покрывался клеем БФ-2 так, чтобы центральной части каждой грани оставалась свободная поверхность размером  $2 \cdot 10^{-2}$  м. Затем он помещался в рабочую камеру, образуемую шестью нагружающими плитами, из которых три – подвижные (связанные со штоками гидродомкратов) и три – неподвижные. Через подвижные нажимные плиты с помощью шлангов и штуцеров подавался сжатый газ, а через неподвижные (воспринимающие) плиты газ отводился к регистрирующим приборам. Для поступления газа в угольный образец в нажимных подвижных плитах сделана система отверстий (перфорация). На неподвижных плитах имелись отверстия диаметром 2 мм для пропуска газа, прошедшего через образец. Герметизация между плитами и угольным

образцом достигалась прокладками вакуумной резины толщиной 0,5 мм. На рис. 1 представлена схема установки для определения газопроницаемости угля. При исследованиях сжатый газ из баллона 1 подавался через редуктор и блок управления 2 по хлоркальциевой трубке в образец 3. На выходе количество прошедшего через образец газа измерялось с помощью расходомеров 4, 5 или 6 в зависимости от величины расхода газа.

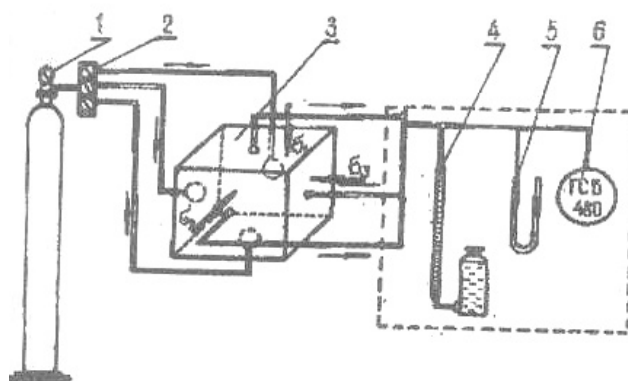
Коэффициент газопроницаемости рассчитывается по известной формуле [7]:

$$K = \frac{Q \cdot \mu \cdot L \cdot Z \cdot 10^3}{F \cdot P_1}, \quad (1)$$

где  $Q$  – объемный расход газа, прошедшего через образец, см<sup>3</sup>/с;  $Q = \frac{V}{t}$ ;

$\mu$  – динамическая вязкость, сПз;  $L$  – длина образца, см;  $z$  – коэффициент пересчета секундного расхода газа на условие опыта,  $Z = \frac{2P_a}{D_1 + D_2 + 2D_a}$ ;

$F$  – площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>;  $P_1$  – давление газа перед входом в образец, Па;  $V$  – объем газа, измеренный по газовым часам или бюреткой, см<sup>3</sup>;  $t$  – время истечения газа, с;  $P_0$  – барометрическое давление, Па;  $P_2$  – давление газа на выходе из образца, Па.



**Рис. 1.** Схема установки для исследования фильтрационных свойств угля:

1 – баллон со сжатым газом; 2 – блок управления; 3 – образец; 4 – бюретка; 5 – образцовый манометр; 6 – газовые часы

Учитывая, что в угле пласта  $h'_6$  отсутствует преимущественная ориентация естественных систем трещин, поэтому угольные образцы, устанавливаемые в рабочую камеру, имели произвольное их расположение относительно главных напряжений. В камере УТС они нагружались по программе моделирующей состояние призабойной зоны пласта  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ . В камере УТС они нагружались по программе моделирующей состояние призабойной зоны пласта –  $\sigma_1 = k\gamma H, \sigma_2 = \frac{V}{1-\nu} k\gamma H, \sigma_3 = 0.5\sigma_{\text{пре}}$ , где  $k$  – коэффициент концентрации напряжений ( $k=2,0-2,5$ );  $V$  – коэффициент Пуассона ( $\nu = 0,3-0,35$ );  $\gamma$  – средневзвешенный вес горных пород;  $H$  – глубина залегания пласта;  $\sigma_{\text{сжс}}$  – прочность угля на одноосное сжатие ( $\sigma_{\text{сжс}} = 9,5-10,8$  МПа).

По мере сжатия образца с интервалом нагружения 3 МПа определялись фильтрационные параметры. После формирования предельного состояния согласно принятой программе производилась разгрузка по линии наименьшего сжимающего напряжения  $\sigma_3 = 0$ , без отодвигания нажимной плиты со скоростью 1 МПа/сек. и 10 МПа/сек. и определялись параметры фильтрации в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

По результатам нагружения были установлены зависимости коэффициента газопроницаемости от давления  $K=f(\sigma_1), K=f(\sigma_2), K=f(\sigma_3)$  представленные на рис. 2. Анализ результатов показывает, что при нагружении угольных образцов по программе моделирующей состояние призабойной зоны  $K_1K_2K_3$ , снижается до  $10^{-6}-10^{-7} D$  против  $(1,2-1,8) \cdot 10^4 D$  в ненарушенном состоянии.

На рис. 3 приведены результаты исследований влияния скорости разгрузки на газопроницаемость угля. Следует отметить, что снижение  $\sigma_3=0$  приводит к тому, что уменьшается величина  $\sigma_1$  до уровня  $\sigma_2$  при скорости 1 МПа/сек., а при скорости 10 МПа/сек  $\sigma_2$  уменьшается в среднем в 1,3 раза. Из анализа представленных результатов следует, что при скорости разгрузки 1 МПа/сек. возникает резкая анизотропия коэффициентов

фильтрации. Наибольшая величина его возрастает в направлении  $\sigma_2$ , причем при  $\sigma_3=0$   $\kappa_2$  при разгрузке превышает в среднем в 10 раз  $K_2$  ненагруженного образца. Поскольку  $K_1$  и  $K_3$  практически остаются на уровне нагруженного угля, естественно следует вывод об образовании в направлении  $\sigma_3$  плоскостей разрушения ориентированных под углом 40-50° к направлению действия напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ . При скорости разгрузки 10 МПа/сек. возникает новая ситуация, при которой  $\kappa_1=\kappa_2=(12-14)\cdot 10^4 D$  и превышают на порядок  $K_1$  и  $K_2$  ненагруженного угля, при этом  $K_3$  остается неизменным. Это свидетельствует об образовании плоскостей разрушения параллельно разгружаемой грани. Образование систем вторичных трещин, резко изменяющих проницаемость угля, при хаотическом их расположении связано в первую очередь с раскрытием части закрытых пор [8, 9], которые для угля пласта  $h^1_6$  Смоляниновский составляет 0,25 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

В соответствии с работой [9] теоретически было установлено, что глубина распространения волны разгрузки в угольном массиве при прочих равных условиях определяется скоростью отторжения части массива, вызывая поток угля, направленный внутрь образовавшейся полости.

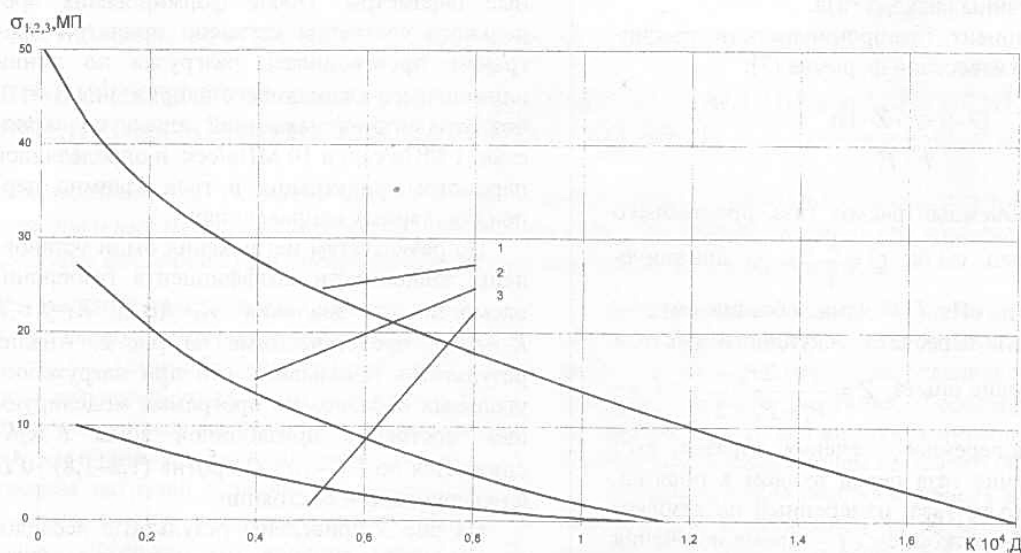


Рис. 2. Изменение газопроницаемости угольных образцов при их нагружении по программе —  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ :  
1 —  $K_1=f(\sigma_1)$ ; 2 —  $K_2=f(\sigma_2)$ ; 3 —  $K_3=f(\sigma_3)$

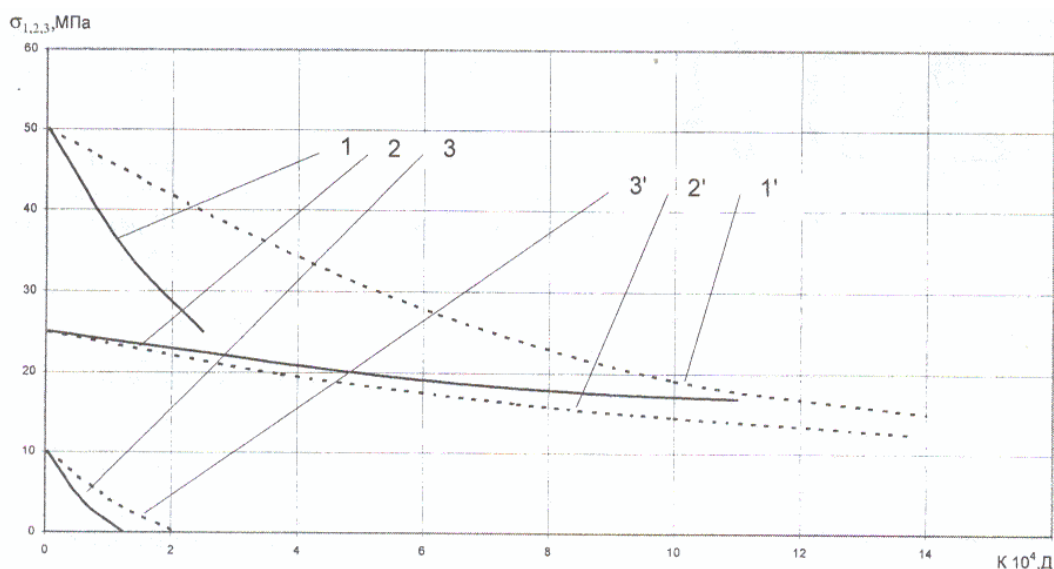


Рис. 3. Изменение газопроницаемости угольных образцов при разгрузке минимального сжимающего напряжения  $\sigma_3 = 0$ : 1 —  $K_1=f(\sigma_1)$ ; 2 —  $K_2=f(\sigma_2)$ ; 3 —  $K_3=f(\sigma_3)$  при скорости разгрузки — 1 МПа/сек; 1' —  $K_1=f(\sigma_1)$ ; 2' —  $K_2=f(\sigma_2)$ ; 3' —  $K_3=f(\sigma_3)$  при скорости разгрузки — 10 МПа/сек

Табл. 1. Результаты исследований влияния скорости разгрузки на глубины образовавшейся полости

V, м/сек	0,005	0,05	0,5	2	4	5
l, мм	-	-	2,0-3,0	3,0-3,5	4,1-5,2	7,0-7,9
$r_{np}$ , мм	-	-	5,0-5,5	4,0-4,5	3,5-3,8	2,5-3,5

Учитывая данный факт, второй цикл исследований был посвящен оценке влияния скорости разгрузки угольного образца путем отодвигания части нажимной плиты площадью  $3,5 \text{ см}^2$  при общей площади  $36 \text{ см}^2$ . Скорость освобождения грани образца от напряжений варьировала от  $0,005 \text{ м/сек}$  до  $5 \text{ м/сек}$ .

После создания в образце предельного напряженно-деформированного состояния в соответствии с вышеописанной программой нагружения производили разгрузку части грани образца. Образцы извлекались из камеры и определяли глубину полости, а по образовавшемуся штыбу — приведенный радиус разрушенных частиц в соответствии с [10]. В таблице 1

представлены результаты исследований влияния скорости разгрузки на глубины образовавшейся полости.

Анализ результатов показывает, что глубина распространения волны разгрузки зависит от скорости снятия напряжений с части грани образца. Кроме этого степень повреждаемости образующегося угольного штыба увеличивается в среднем в 3 раза.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что с увеличением скорости разгрузки угольного массива, находящегося в условиях предельного напряженного состояния, изменяется механизм разрушения угля и степень его повреждаемости за счет раскрытия части закрытых пор.

### **Библиографический список**

1. **Чирков Е.Е.** Прочность горных пород при трехосном неравнокомпонентном сжатии // ФТПРПИ, 1976.— №1. —С. 11-17.
2. **Берон А.И.** Исследование прочности и деформируемости горных пород. — М: Наука, 1973. — 206 с.
3. **Чирков Е.Е., Норель Б.К., Мохначев М.П.** и др. Методика прогнозирования прочности углей. — М.: 1981 -28 с.
4. **Мосинец В.Н.** Дробление и сейсмическое действие взрыва в горных породах. — М.: Недра. — 1976. — 271с.
5. **Алексеев А.Д., Норель Б.К., Стариков Г.П.** Механические испытания образцов угля на установке трехосного сжатия//ФТПРПИ, 1983. —№1.— С. 106-108.
6. **Алексеев А.Д., Стариков Г.П., Бойко И.А.** Совершенствование УТС с целью повышения точности измерений // ФТВД, 1987. — №25. — С. 23-25.
7. **Керенес Е.Е.** Методы изучения фильтрационных свойств горных пород. — М.: Наука, 1975. —231 с.

8. **Зайденварг В.Е. Синолицкий В.В.** Новые представления о фазовом состоянии метана в угле // *Материалы 24 конференции по безопасности работ в горной промышленности.* — Донецк, 1991. — С. 453-463.

9. **Алексеев А.Д., Стариков Г.П., Филиппов А.Э.** Численное моделирование выхода метана из угля с учетом волны разгрузки и раскрытие пористости при изменении напряжений // *Проблеми гірничого тиску.* — Донецк: ДонГУ, 2003. — Вып. 9. — С. 120-151.