

УДК 539.375:622.236

**ВЛИЯНИЕ ВИДА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА  
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕЙ ПРИ РАЗРУШЕНИИ  
ИХ В УСЛОВИЯХ ОБЪЕМНОГО СЖАТИЯ**

**д.т.н. Ревва В.Н., асп. Бачурин Л.Л., асп. Кравченко А.В.,  
инж. Василенко Н.И. (ИФГП НАН Украины)**

*Встановленні закономірності впливу напруженого стану на механічні властивості вугілля різних марок при руйнуванні його в умовах об'ємного нерівнокомпонентного стиснення*

**INFLUENCE OF TYPE OF THE TENSE STATE ON  
MECHANICAL PROPERTIES OF COALS AT DESTRUCTION  
OF THEM IN THE CONDITIONS OF BY A VOLUME  
COMPRESSION**

**Revva V.N., Bachurin L.L., Kravchenko A.V., Vasilenko N.I.**

*Stress system effects on the mechanical properties of various coals are studied at their destruction under conditions of true triaxial compression*

Физико-механические свойства горных пород, как и многих других тел, зависят в значительной степени от вида и величины напряженного состояния, при которых они определяются. Поэтому экспериментальные исследования в этом направлении представляются весьма актуальными.

В настоящей работе на установке неравнокомпонентного трехосного сжатия (УНТС) [1] по методике [2] проведены испытания призматических образцов углей до разрушения для разных видов напряженного состояния, характеризуемых параметром Надаи-Лоде

$$\mu_{\sigma} = 2 \left( \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \right) - 1,$$

где  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ -главные напряжения, с целью оценки влияния этих видов на механические свойства углей.

Испытывались угли разных марок со следующими характеристиками:

## **Физика горных процессов на больших глубинах**

*А – «антрацит»:*

П/о Шахтерскантрацит, шахта «2-2бис», пласт «Фоминской»  $h_8$  с содержанием летучих  $V^e=4,8\%$ , содержанием серы-1,0%, зольность угля-12%, влажность угля-3,8%, глубина залегания 493м, блестящий, содержание витренита около 90%. Естественная метаноносность пласта-20-28 м<sup>3</sup>/т. Угольный пласт сложного строения, двухпачечный, угольные пачки разделены прослоем сланца глинистого, угле-глинистого мощностью 0,01-0,03м. Верхняя пачка 0,19-0,21м. Средняя вынимаемая мощность пласта 1,05-1,13м. Образцы угля извлечены из раскоски 10-го бис западного откаточного штрека.

*Т – «Тоций»:*

П/о Макеевуголь, шахта «им.С.М.Кирова», пласт  $h_{10}^B$ , глубина залегания 365м, содержание летучих  $V^e=10,3\%$ . Естественная метаноносность пласта-25,7-35,7 м<sup>3</sup>/т. Основная кровля(15м)-глинистый сланец, непосредственная кровля(5м)-глинистая кровля, угольный пласт 1,12 м, почва пласта-песчаник. Место отбора проб-5-й восточный конвейерный штрек пласта  $h_{10}^B$ .

*Ж – «Жирный»:*

Шахта «Торецкая», пласт  $K_8$ , содержание летучих  $V^e=33,8\%$ , содержание серы-5,0%, зольность угля-14,7%, влажность угля-1,2%, глубина залегания 810м, содержание витренита до 85%, природная метаноносность около 12 м<sup>3</sup>/т. Пласт угля сложного строения и состоит из следующих пачек: верхняя пачка-уголь полублестящий, средней крепости, трещиноватый, слоистый(0,36м), ниже прослой угольного сланца перемятого(0,02-0,03м), средняя - уголь мощностью 0,06-0,1м; ниже прослой углистого перемятого сланца(0,03-0,05м), третий слой-уголь средней крепости, трещиноватый, мощностью 0,52-0,55м.

*К – «Коксующийся»:*

Шахта «Засядько», пласт  $L_1$ , содержание летучих  $V^e=28,8\%$ , зола-4,3-18,7%, сера-2,2-3,39%, природная влага-1,2%. Уголь полублестящий, содержание витренита до 75%, сложного строения, хрупкий, с включениями пирита, опасен по газу, суфлярным выделениям метана, взрывчатости угольной пыли, внезапным выбросам угля и газа. Природная метаноносность пласта-20-25 м<sup>3</sup>/т.

Призматические образцы, изготовленные из углей перечисленных марок, были подвергнуты воздействию объемного неравнокомпонентного сжатия до разрушения.

Реализовывались пять видов напряженного состояния:

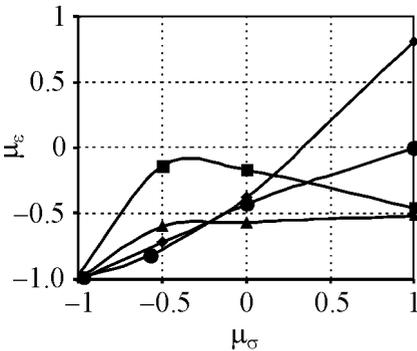
- программа 1 – обобщенное сжатие:  $\mu_\sigma = -1$ ;
- программа 2 – обобщенное растяжение:  $\mu_\sigma = +1$ ;
- программа 3 – обобщенный сдвиг:  $\mu_\sigma = 0$ ;
- программа 4 – между обобщенным сжатием и обобщенным сдвигом:  $\mu_\sigma = -1/2$ ;
- программа 5 – между обобщенным сдвигом и обобщенным растяжением:  $\mu_\sigma = +1/2$ ;

Установка УНТС конструкции ИФГП НАНУ позволяет в трех взаимно перпендикулярных направлениях создавать независимые напряжения при замкнутой камере, в которой содержится призматический образец, и объем которого изменяется идентично объему образца. На протяжении всего процесса деформирования, вплоть до разрушения, фиксировались прикладываемая нагрузка по трем осям и деформации образца. По специальной программе на персональном компьютере рассчитывались механические свойства испытываемых образцов, в том числе параметры Надаи-Люде  $\mu_\sigma$  и  $\mu_\varepsilon$ , характеризующий вид деформационного состояния.

$$\mu_\varepsilon = 2 \left( \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} \right) - 1$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  – главные деформации.

В результате экспериментальных исследований установлены следующие закономерности.



**Рис. 1.** Зависимость вида деформационного состояния от вида напряженного состояния для различных марок угля:  $\blacklozenge$  – антрацит,  $\blacksquare$  – марка Ж,  $\blacktriangle$  – марка К,  $\bullet$  – марка Т

На рис. 1 представлены зависимости  $\mu_\varepsilon$  от  $\mu_\sigma$  для разных марок угля при их разрушении.

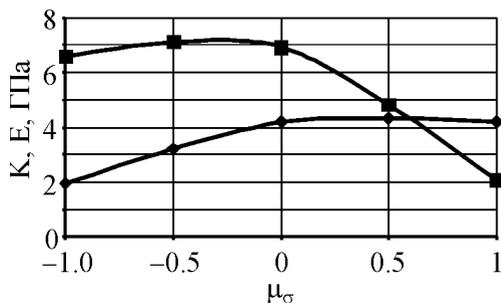
Для всех марок угля  $\mu_\varepsilon$  не соответствует  $\mu_\sigma$ , причем, для углей марок Т, К и Ж в условиях объемного неравнокомпонентного сжатия  $\mu_\varepsilon$  изменяется от обобщенного сжатия до обобщенного сдвига и только для антрацита при виде напряженного состояния, соответствующего обобщенному растяжению,  $\mu_\varepsilon$  принимает значение ближе к обобщенному растяжению.

Несоответствие напряженного и деформационного состояний при деформировании и разрушении углей при разных видах напряженного нагружения, на наш взгляд, определяется не только анизотропией, а прежде всего различием и конкуренцией двух процессов, происходящих в нагруженном образце: течение (пластической деформации) и зарождение микротрещин [2]. Поэтому по виду напряженного состояния судить о характере разрушения углей в большинстве случаев нельзя, а только по виду деформационного состояния. По этой же причине по замеренным деформациям нельзя в полной мере судить о напряженном состоянии углей.

По характеру имеющихся в горном массиве трещин можно восстановить деформационное состояние массива, на основании которого, учитывая закономерности несоответствия, определить и вид напряженного состояния. Эти данные могут иметь большое значение при геометризации тектонических нарушений, уточнении их классификации и установлении ориентировки напряжений в горном массиве и вида напряженного состояния.

Особенности в поведении антрацита можно объяснить его прочностью и особенностями его структуры.

Проведенные экспериментальные исследования позволили также, как и для горных пород установить, что вид напряженного состояния существенно влияет на механические характеристики углей. На рис. 2 и рис. 3 для примера представлены зависимости модуля объемного сжатия  $K$ , модуля деформации  $E$  и коэффициента поперечной деформации  $\nu$  от вида напряженного состояния  $\mu_\sigma$  для антрацита, которые подтверждают необходимость учета вида напряженного состояния при экспериментальном определении механических характеристик горных пород и углей при деформировании и разрушении их в условиях объемного неравнокомпонентного нагружения.



**Рис. 2.** Зависимости модуля объемного сжатия  $K$  (—◆—) и модуля деформации  $E$  (—■—) от вида напряженного состояния  $\mu_\sigma$  для углей марки А

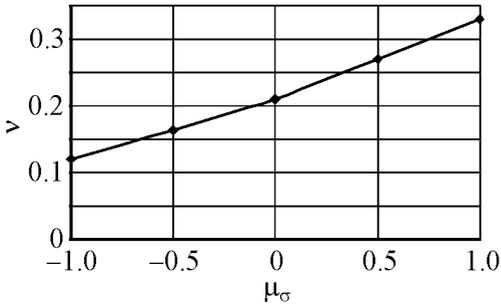


Рис. 3. Зависимость модуля поперечной деформации  $\nu$  от вида напряженного состояния  $\mu_{\sigma}$  для углей марки А

### Выводы

Экспериментальные исследования деформирования и разрушения углей в условиях объемного неравнокомпонентного сжатия свидетельствуют о несоответствии напряженного состояния деформационному. Это несоответствие, в частности, может привести к неверной интерпретации данных относительно замеров в массиве и реконструкции полей напряжений.

Вид напряженного состояния существенно влияет на механические свойства углей при деформировании и разрушении их в условиях объемного неравнокомпонентного сжатия, поэтому его необходимо учитывать при экспериментальном определении механических характеристик углей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.Д., Недодаев Н.В. Предельное состояние горных пород.– Киев: Наукова думка, 1982. – 198 с.
2. Алексеев А.Д., Ревва В.Н., Рязанцев Н.А. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений.– Киев : Наукова думка, 1989. – 168 с.