

539.3:622.831

## НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗУ АКТИВИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

**Ревва В. Н.**

*(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)*

*Запропоновано новий підхід до прогнозу початку або активізації процесів зрушення гірських порід та земної поверхні, що максимально враховує фізико-механічні властивості порід масиву.*

*A new treatment of predicting the onset or intensification of ground subsidence and movement is proposed that takes into account mechanical and physical properties of rock mass to the full.*

Основоположник исследовательских работ по сдвигению горных пород в СССР И. М. Бахурин в своё время утверждал, что «Мы не ошибемся, если скажем, что вся история горного дела, вся история изыскания наилучших систем разработок есть история борьбы со сдвижением горных пород» [1]. В настоящее время эта «борьба» становится еще более актуальной, особенно, в связи с консервацией и закрытием угольных шахт с последующим их затоплением. При разработке новых современных моделей сдвижения горных пород и земной поверхности важнейшим становится максимальный учет физико-механических свойств пород горного массива и их изменения от влияющих факторов.

В [2] предложен новый подход, основанный на положениях механики разрушения, к оценке предельного состояния горного массива над выработанным пространством, который может быть использован для прогноза начала или активизации процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при консервации

и закрытии угольных шахт. Критериальное соотношение имеет вид:

$$\frac{\pi d(1-\nu^2)}{2E} \left\{ [P - \kappa \gamma H (\sin^2 \alpha + \lambda \cos^2 \alpha)]^2 + \frac{(k \gamma H)^2}{4} (1-\lambda)^2 \sin^2 2\alpha \right\} = \Gamma, \quad (1)$$

$\Gamma$  – эффективная поверхностная энергия (ЭПЭ) – энергия, необходимая на образование нового элемента поверхности и учитывающая все механизмы разрушения, характеристика трещиностойкости (сопротивляемости развитию трещин в твердом теле) породы (к примеру, для песчаников с разным цементом изменяется в пределах с 1 дж/м<sup>2</sup> до 190 дж/м<sup>2</sup>);  $l$  – размер эффективной трещины, интегрально учитывает множество реальных трещин в массиве, определяемый согласно [3]. Из формулы:

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{2E\Gamma}{\pi(1-\nu^2) \cdot l}},$$

где  $\sigma_f = \sigma_{сж}$  – при сжатии,  $\sigma_f = \sigma_p$  – при растяжении; а  $\sigma_{сж}$  и  $\sigma_p$  соответственно пределы прочности на одноосные сжатие и растяжение;

$E$  – модуль деформации для неупругой среды и модуль Юнга для упругой среды;

$\nu$  – коэффициент поперечной деформации для неупругой среды, а для упругой коэффициент Пуассона;

$P$  – давление флюида (вода, газ) в трещине;

$\gamma$  – объемный вес породы;

$\kappa$  – коэффициент концентрации напряжений в зоне влияния горной выработки;

$\lambda$  – коэффициент бокового распора, который для случая упругой среды равен  $\frac{\nu}{1-\nu}$ ;

$\alpha$  – угол ориентации трещины относительно направления действия преобладающего сжимающего напряжения и критическое значение его  $\alpha = \text{arcctg } \rho$  ( $\rho$  – коэффициент внутреннего трения);

$H$  – глубина залегания эффективной трещины.

Поскольку наличие пор и трещин в горных породах предопределяет возможность их заполнения различными жидкостями

и газами, а также то, что при закрытии угольных шахт предусмотрено чаще всего их полное затопление, проанализируем влияние флюидов на параметры критериального соотношения (1).

Флюиды в горных породах оказывают физико-химическое и чисто механическое влияние на их физико-механические свойства.

Физико-химическое влияние (эффект Ребиндера) состоит в адсорбции флюида на внутренних поверхностях породы, что приводит к уменьшению свободной энергии на границе фаз. Уменьшение поверхностной энергии уменьшает прочность породы.

Наряду с физико-химическим эффектом проявляется и механический эффект давления поровых флюидов. При внешнем сжатии тенденция к уменьшению объема пор приводит к возникновению давления флюида, который перпендикулярно поверхности зерен. Давление порового флюида уменьшает нормальное напряжение, но не влияет на касательное напряжение.

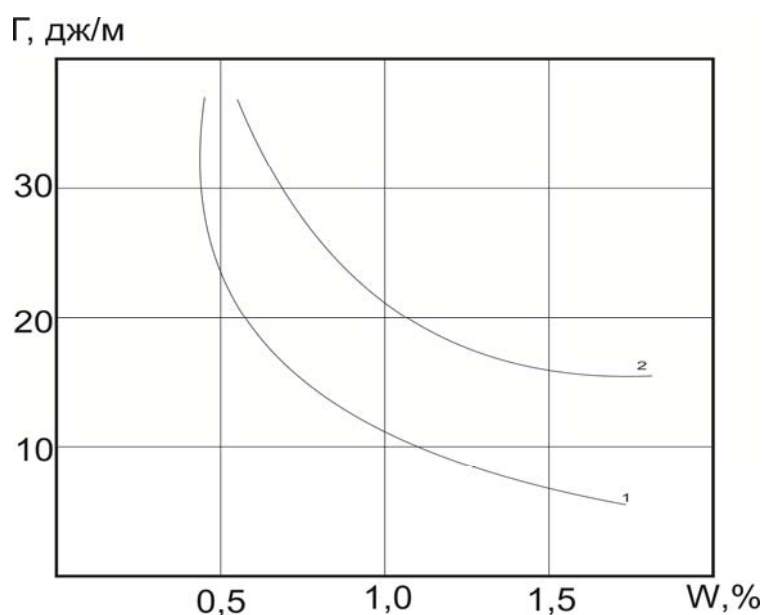
Основное различие влияния воды и газа на физико-механические свойства горных пород сводится к следующему [4]: водонасыщение снижает модуль упругости и модуль сдвига, а газонасыщение их увеличивает, водонасыщение приводит к росту деформаций и пластификации пород, а газонасыщение к их уменьшению и охрупчиванию; водонасыщение локализует разрушение в одной плоскости и приводит к разрушению путем скольжения, газонасыщение интенсифицирует трещинообразование по всему объему породы, разрушение носит взрывоподобный характер, трещины близки к трещинам отрыва.

Следует отметить, что при совместном влиянии воды и газа, вода из-за большей энергии сорбции по сравнению с газом изолирует внутреннюю поверхность породы, поэтому основная масса газа находится в свободном состоянии и в этом случае основное влияние газа сводится чисто к механическому.

В связи с вышеизложенным ограничимся влиянием водонасыщения на основные параметры соотношения (1).

Важнейшим параметром в (1) является ЭПЭ. В [4] представлены экспериментальные исследования влияния водонасыщения на ЭПЭ горных пород (на примере песчаников).

Установлено, что песчаники очень гидрофильны. ЭПЭ песчаников с силикатным цементом (как правило, высокопористых) уменьшается довольно значительно (до 8 раз) (рис. 1). При этом наибольшее уменьшение происходит при содержании влаги 1,2-1,5 %. При дальнейшем увлажнении ЭПЭ изменяется незначительно. В песчаниках с карбонатным цементом (особенно базальным ЭПЭ уменьшается незначительно до 1,5 раза), при этом наибольшее уменьшение происходит при содержании влаги от 0,5 до 0,75 %.



- 1 – песчаник с силикатным цементом;
- 2 – с карбонатным цементом

Рис. 1. Зависимость ЭПЭ (Г) от влажности W

Таким образом, при закрытии угольных шахт и дальнейшем их затоплении до определенной глубины трещиностойкость горных пород массива на этой глубине будет значительно уменьшаться, способствуя развитию в них трещин, а следовательно, началу или возобновлению процесса сдвижения горных пород и земной поверхности.

Зная строение горного массива на определенном участке, уровень затопления и изменение физико-механических свойств вмещающих пород в связи с их водонасыщением, можно спро-

гнозировать начало или активизацию процесса сдвижения горных пород и дневной поверхности по критерию (1).

**Вывод.** Предложен новый подход для прогноза начала или активизации процесса сдвижения горных пород и земной поверхности, максимально учитывающий физико-механические свойства пород массива и их изменение в связи с водонасыщением при затоплении угольных шахт.

### СПИСОК ССЫЛОК

1. Бахурин И. М. Сдвижение горных пород под влиянием горных выработок. / И. М. Бахурин – М. : Гостехиздат, 1942. – 272 с.
2. Ревва В. Н. Предельное состояние горного массива над выработанным пространством при закрытии угольных шахт. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України / В. Н Ревва – Донецк, 2014. – № 14. – С. 256-260.
3. Хеккель К. Техническое применение механики разрушения. М: Металлургия. / К Хеккель.– 1974.- 64 с.
4. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений / Алексеев А.Д., Ревва В.Н., Рязанцев Н.А. – Киев: Наук. думка, 1989. – 168 с.