

УДК 622.23.02

## ВЛИЯНИЕ УВЛАЖНЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА НА АКТИВИЗАЦИЮ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЗАКРЫТИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Питаленко Е. И., Васютина В. В.  
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Ревва В. Н.  
(ИФГП НАНУ, г. Донецк, Украина)

*У статті наведені результати експериментальних досліджень з питання зміни фізико-механічних властивостей вугілля та вмичувальних порід при водонасиченні, що відбувається у результаті затоплення гірничих виробок шахт методом мокрої консервації.*

*The results of experimental investigations related to the problem of changes in physical and mechanical properties of rocks and enclosing strata being saturated with water as a result of flooding workings with water using wet conservation are given in the paper.*

Уже более пятнадцати лет в Украине проходит реструктуризация угольной промышленности, в результате которой было закрыто большое количество нерентабельных и отработавших запасы угольных шахт, где был использован метод «мокрой консервации» [1, 2].

Как показал опыт закрытия шахт, не все процессы, происходящие в угольном массиве, при этом были спрогнозированы. Так, совершенно неожиданно на многих объектах (когда шахты закрывали и переводили на мокрую консервацию, т.е. при полном или частичном затоплении выработанного пространства) произошло преждевременное (по сравнению с прогнозным) поступление воды на поверхность [2].

Процессы деформирования горного массива и земной поверхности над выработанным пространством, исследовались в основном при развитии горных работ, а при их прекращении и затоплении выработок водой проводились очень избирательно. Поэтому очень важно пронаблюдать развитие геомеханических процессов при затоплении выработанного пространства после закрытия угольных предприятий, рассмотрев эти вопросы более досконально.

При ранее выполненных исследованиях [3] установлено, что увлажнение горных пород значительно влияет на их физико-механические характеристики. В результате водонасыщения углелепородного массива, который был разработан, и при этом была нарушена его сплошность, могут происходить изменения его свойств над выработанным пространством, и следует ожидать возобновление процесса сдвижения земной поверхности. Этот вопрос практически не изучен, хотя такие факторы, как обводнение местности вследствие оседания поверхности и поднятия грунтовых вод, свидетельствуют о его вероятности.

Физико-механические свойства углей и горных пород изучены недостаточно, особенно изменение этих свойств при насыщении водой [6]. Не рассматривался процесс взаимодействия с горными породами шахтных вод, которые по химическому составу являются как щелочными, так и кислотными. В свою очередь, угли и горные породы сильно отличаются по своему строению, минералогическому составу зерен и цемента, что весьма усложняет характер указанного выше взаимодействия [4].

Известно, что углелепородный горный массив находится в сложном объемном напряженно-деформированном состоянии. Изучение геомеханических процессов, а именно изменение физико-механических свойств углей и пород непосредственно в массиве, происходящее при его увлажнении, является практически невыполнимыми в натуральных условиях, поэтому исследования были проведены в лаборатории при увлажнении образцов шахтной водой.

При выполнении экспериментов определялись количественные параметры механических характеристик горных пород и угля. Они были проведены на установке трехосного неравнокомпо-

нентного сжатия (УНТС) [3], созданной в Институте физики горных процессов НАН Украины по разработанной оригинальной методике [4]. Основной особенностью её является отображение (идентификация) условий нагружения испытываемых образцов, в которых находится условно выделенный элементарный объем породы (угля) внутри горного массива. Так, в непосредственной близости к открытой поверхности горной выработки породы (уголь) испытывают двухосное (плоское) сжатие. С удалением в глубь массива - трехосное неравномерное сжатие с постепенным увеличением бокового подпора со стороны открытой поверхности.

Для исследований вопроса изменения физико-механических свойств пород и углей в результате увлажнения необходимо рассмотреть различные виды пород, что составляют литологическое строение массива. В данной статье приводятся результаты проведенных исследований на образцах песчано-глинистого сланца, как одного из видов пород, представляющих литологическое строение горного массива.

Из породы изготавливались образцы, к которым были предъявлены следующие основные требования:

- образцы должны отражать литолого-минералогический состав и строение горного массива в исследуемой (прогнозируемой) зоне;
- при выборе размеров должно учитываться влияние масштабного эффекта. С учетом этих требований из кусков (штуфов) пород и угля, отобранных в заданных точках, на камнерезном станке вырезались образцы кубической формы с размерами ребер 60 мм.

Искусственное увлажнение образцов осуществлялось путем безнапорного насыщения в специальной установке. Обезвоживание образцов производилось в эксикаторе с гигроскопическим веществом при вакуумировании и термическом высушивании. Экспериментальные данные обрабатывались с помощью персонального компьютера по специальной методике расчета прочностных и деформационных свойств горных пород, основанной на соотношениях механики сплошных сред для объемного напряженного состояния [4].

При решении вопроса изменения физико-механических свойств угленосного массива в результате намочения необходимо учитывать ряд факторов, среди которых важно выделить такие, как литологический состав, метаморфизм, влажность и глубина залегания, система отработки и др. Важным направлением является также изучение трещиностойкости массива как информативного показателя прочности, который объясняет влияние изменения влажности на устойчивость обнаженных горных пород в выработанном пространстве [5].

Установлено, что если предел прочности многих пород уменьшается на 25-50 % , то трещиностойкость уменьшается в 6-8 раз [1].

В таблице 1 представлены результаты влияния влажности (3 %) на основные механические и энергетические характеристики вмещающих пород (песчано-глинистых сланцев).

Таблица 1

Влияние водонасыщения на основные механические и энергетические характеристики песчано-глинистых сланцев

Показатели (характеристики)	Сухая порода	Влажная порода	Процентное соотноше- ние между сухими и влажными породами
1	2	3	4
Разрушающее напряжение, $\sigma$ (МПа) при $\sigma_1=3,0$ ГПа и $\sigma_2=1,5$ ГПа	12,4	11,5	107
Остаточная прочность (ГПа)	9,8	9,3	105
Объемный модуль деформаций, $K \cdot 10^3$ , (ГПа)	2,1	1,8	116
Модуль сдвига, $G \cdot 10^3$ , (ГПа)	1,8	0,9	200

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Коэффициент Пуассона, $\nu$	0,18	0,23	78,2
Модуль упругости $E \cdot 10^3$ , (ГПа)	2,5	1,9	145
Плотность энергии формоизменения, $A_f$ (МДж/м <sup>3</sup> ):			
предельная	2,36	2,89	81,6
остаточная	1,4	1,9	73
	-	-	-
Плотность энергии изменения объема, $A_v$ (МДж/м <sup>3</sup> ):			
предельная	1,05	0,85	123
остаточная	-	-	-
	0,6	0,58	103
Плотность энергии разрушения, $A_p$ (МДж/м <sup>3</sup> )	2,03	0,61	332
Вновь образованная поверхность (м <sup>2</sup> )	0,082	0,025	328
Эффективная поверхностная энергия (Дж/м <sup>2</sup> )	25	12	208

На рис. 1. представлены зависимости компонентов напряжений ( $\sigma_1$ - $\sigma_{cp}$ ) от деформаций ( $\varepsilon_1$ - $\varepsilon_{cp}$ ) при деформировании образцов песчано-глинистого сланца в условиях объемного неравнокомпонентного сжатия ( $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  ( $\sigma_3 = 2,0$  ГПа,  $\sigma_2 = 2,5$  ГПа)).

Кривые на графике соответствуют деформированию образца сухой и увлажненной породы, где влажность составляет (2,5 - 3,0 %).

Анализ графических зависимостей показывает, что с увлажнением образцов песчано-глинистых сланцев (до 3 %) уменьшаются модуль деформации (восходящая ветвь) и модуль спада (ниспадающая ветвь), позволяющие судить о пластификации породы и склонности ее к более вязкому разрушению. При этом объемная прочность уменьшается в 1,1 раза, увеличиваются предельная деформация в 1,10 раза и деформация после разрушения в 1,4 раза.

На рис. 2 приведены графики изменения прочности на одноосное сжатие углей при увеличении их влажности  $W$  от 0,15 до

3 %. Откуда видно, что наиболее интенсивное снижение прочности происходит при повышении влажности до  $W = 2,0$  %.



Рис. 1. Зависимости компонентов напряжений от деформаций при деформировании песчано-глинистого сланца в условиях объемного неравнокомпонентного сжатия

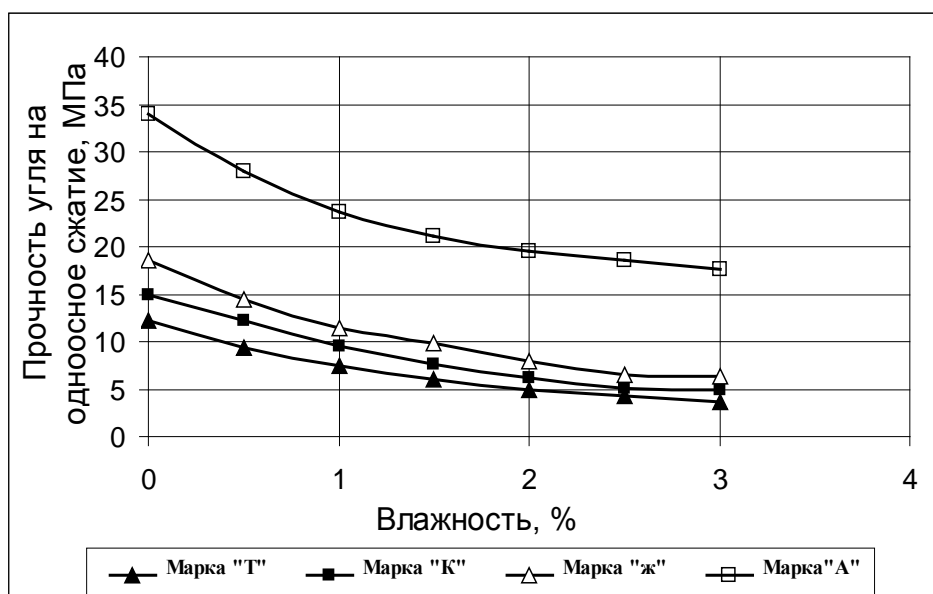


Рис. 2. Изменение прочности углей разных марок от их влажности

Прочность углей марок “Ж”, “К” и “Т” уменьшается в 2,8 – 3,5 раза, а уголь марки “А” является наиболее прочным, но при увлажнении она снижается, о чем свидетельствует кривая на графике.

Очень важной характеристикой твердых тел является эффективная поверхностная энергия (ЭПЭ), характеризующая трещиностойкость материала как параметр, необходимый для образования нового элемента поверхности в теле и рассматривается как основной показатель в оценке устойчивости кровли. Его определяют несколькими способами, но в данном случае используется т.н. инженерный метод определения ЭПЭ. Образцы из породы (песчано-глинистого сланца) изготавливали в виде балочки 100-150 мм прямоугольной формы. В балочке искусственно нарезалась трещина, которая выходит на поверхность, глубиной более 0,2 высоты балочки. Причем радиус устья трещины должен быть не более 0,5 мм. Эффективная поверхностная энергия определяется по формуле [1]:

$$\Gamma = \frac{\pi P^2 B^2 f(\lambda)}{Eh^3 H^2}, \quad (1)$$

где  $B$  – плечо действия нагрузки  $P$ , мм;

$H$  – толщина образца, мм;

$h$  – высота образца, мм;

$\lambda = l_{тр}/h$  – относительная длина трещины;

$f(\lambda)$  – функция относительной длины трещины.

При использовании инженерного метода определения ЭПЭ был получен следующий результат. На рис. 3 представлено изменение ЭПЭ песчано-глинистого сланца от влажности.

Трещиностойкость образцов с увеличением их влажности от 0,15 % до 2,0 % уменьшается в 2–6 раз. Т.е. сопротивляемость песчано-глинистых сланцев от распространения в них дефектов типа трещин при увлажнении уменьшается значительно. Следовательно, при увлажнении вмещающих пород в результате заполнения выработок водой предел прочности песчано-глинистого сланца уменьшается на 20-30 %. Также на прочность пород и угля оказывает влияние наличие дефектности структуры, которая

сопряжена с наличием при отработке и эксплуатации выработок полей повышенных напряжений – зоны повышенного и опорного горного давления.



Рис. 3. Зависимость ЭПЭ песчано-глинистых сланцев от их влажности

Процессы деформирования горных пород при отработке пологих угольных пластов в значительной мере отличаются по количественным и качественным параметрам от аналогичных, но происходящих при отработке наклонных и крутых пластов [6].

В лавах по простиранию активизация процесса оседания пород кровли зависит от степени и скорости увлажнения горного массива. Для пологого падения зависимость активизации процесса оседания от способа управления горным давлением для недавно отработанных горизонтов менее выражена, чем для ранее отработанных. Это происходит вследствие того, что в последние 30-40 лет отработка пластов велась механизированными комплексами с полным обрушением кровли вслед за подвиганием крепи. На более ранних горизонтах применялись способы управления кровлей более разнообразные – от полной закладки до полного обрушения. Вследствие этого и увлажнение горного массива и активизация процесса обрушения кровли будет проте-



коть по-разному. На рис. 4 представлена геомеханическая схема (пологое падение) активизации процесса обрушения пород кровли в выработанное пространство при их намокании после заполнения выработок водой. На схеме видно, что предположительно намокание пород, преимущественно песчано-глинистого сланца, осуществляется на величину 40 м, где  $m$  – вынимаемая мощность пласта.

Поскольку затопление выработанного пространства происходит снизу вверх, первыми будут увлажняться породы, примыкающие к кровле лавы, т.е. наиболее легкообрушаемые. При этом под действием веса вышележащих пород будет происходить дополнительное обрушение слоев кровли и их уплотнение. По нашим расчетам такое дополнительное уплотнение может составить до 20 % от вынимаемой мощности пласта.

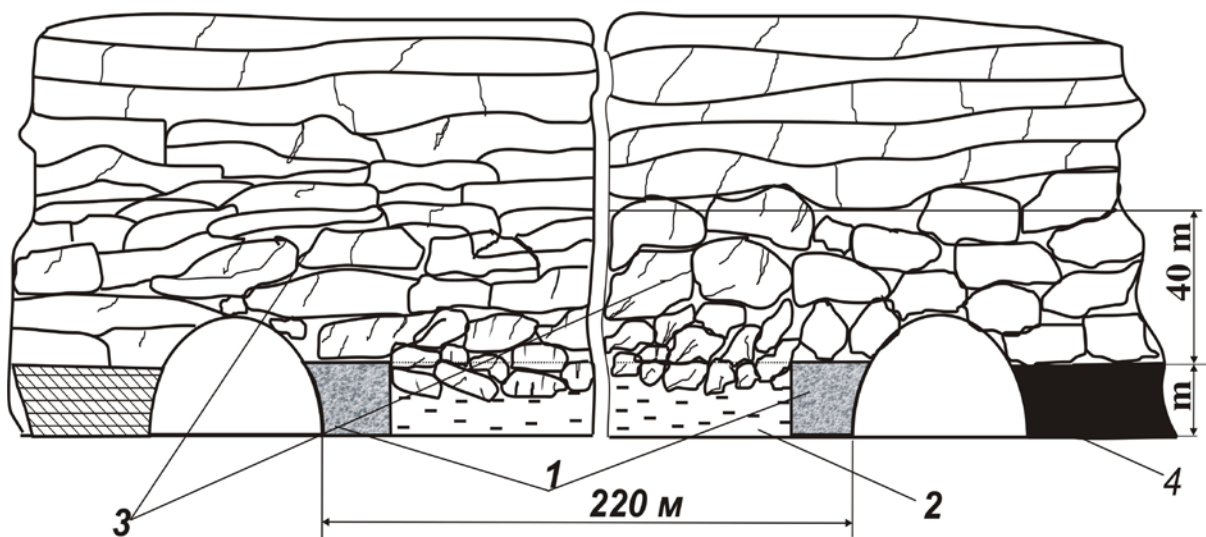


Рис. 4. Геомеханическая схема активизации процесса обрушения пород в выработанное пространство при намокании:

- 1 – охранные элементы железобетонных конструкций;
- 2 – выработка заполненная водой;
- 3 – вмещающие породы;
- 4 – угольный пласт

В лавах по простиранию механизм активизации деформационных процессов в большей степени зависит от способа управления кровлей. Как показывает выполненный нами анализ, даже

при способе управління кровлей полным обрушением с деревянной крепью, в выработанном пространстве остается призабойная и специальная крепь, которая не позволяет полностью обрушиться кровле, в том числе и непосредственной, которая зависает на небольших площадях над кострами. Увлажнение боковых пород песчано-глинистых сланцев на контакте с крепью приведет к потере контакта вследствие уменьшения их прочности и обрушению крепи. Это свидетельствует о том, что и в выработанном пространстве обрушившиеся породы кровли, а это в основном песчано-глинистый и глинистый сланцы, а также породы почвы будут быстро намокать и разрушаться. Следовательно, и при намокании горного массива возможно уплотнение обрушенных пород в выработанном пространстве на 20-50 %.

Выполненный анализ результатов шахтных исследований позволяет сделать следующие **выводы**.

1. При затоплении выработанного пространства закрытых шахт велика вероятность активизации геомеханических процессов в ранее подработанном горном массиве, что в свою очередь вызовет активизацию процесса сдвижения земной поверхности.

2. Анализ экспериментальных исследований показал, что влагонасыщение углей и горных пород приводит к существенному изменению их физико-механических свойств, снижаются упругие и прочностные свойства, и происходит пластификация горного массива.

3. Показатель прочности пород – трещиностойкость, с увеличением влажности от 0,15 % до 2,0 % уменьшается в 2–6 раз.

4. В результате увлажнения пород кровли они будут дополнительно уплотняться, что может составить до 20 % от вынимаемой мощности пласта.

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Янукович В. Ф. Решение геоэкологических и социальных проблем при эксплуатации и закрытии угольных шахт [Текст] / В. Ф. Янукович, Н. Я. Азаров, А. Д. Алексеев, А. В. Анциферов, Е. И. Питаленко. – Донецк: Алан, 2002. – 480 с.
2. Гавриленко Ю. Н. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины [Текст] / Ю. Н. Гавриленко, В. Н., Ерма-

- ков, Ю. Ф. Кренида, О. А. Улицкий, В. А. Дрибан – Донецк: Норд пресс, 2004. – 632 с.
3. Алексеев А. Д. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений. [Текст] / А. Д. Алексеев, В. Н. Ревва, Н. А. Рязанцев – К: Наукова думка, 1989. – 168 с.
  4. Алексеев А. Д. Предельное состояние горных пород [Текст] / А. Д. Алексеев, Н. В. Недодаев. – К.: Наукова думка, 1982. – 198 с.
  5. Баклашов И. В. Механика горных пород [Текст] / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия. – М.: Недра, -1975. – 272 с.
  6. Панов Г. Е. Предварительное увлажнение массивов на угольных шахтах и карьерах [Текст] / Москва. Недра,- 1970. – 127 с.