

*Доценко О. Г.,
к.т.н. Иванова М. С.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ ОБРУШЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

В статті наведена методика моделювання процесу ущільнення обвалених гірничих порід і вказані напрямки подальших досліджень.

***Ключові слова:** деформаційні властивості; обвалені породи; факторний експеримент.*

В статье приведена методика моделирования процесса уплотнения обрушенных горных пород и указаны пути дальнейших исследований.

***Ключевые слова:** деформационные свойства; обрушенные породы; факторный эксперимент.*

Одна из основных проблем добычи угля на шахтах Донбасса связана с увеличением глубины разработки и проявляется в снижении устойчивости горных выработок. Широко распространенные способы охраны выработок на больших глубинах не могут в достаточной мере обеспечить безопасные условия работы и безремонтное их поддержание.

Перспективным способом охраны считается расположение выработок в выработанном пространстве [1,2], при котором исключается влияние опорного давления, но за счет повышенной трещиноватости породного массива снижается прочность пород, и изменяются их деформационные показатели. Существующие технологические схемы с выработками, пройденными по обрушенным породам, применяют на шахтах очень редко ввиду присущих им недостатков и отсутствия достоверной методики расчета параметров их охраны, учитывающих реальные свойства обрушенных и уплотняющихся пород.

Для решения актуального вопроса по установлению параметров проведения выработок по обрушенным породам необходимо знать распределение напряжений в горном массиве с учетом выработанного пространства и деформационных свойств горных пород.

Напряженно-деформированное состояние пород при ведении очистных работ можно исследовать методом конечных элементов

(МКЭ) [3] в предположении упруго-нелинейного поведения массива, что предполагает установление модуля деформации обрушенных пород, зависящего от действующих напряжений, продолжительности действия нагрузки, типа породы, ее влажности, а также структуры и трещинной пустотности обрушившегося массива [4]. Изменение деформационных свойств пород выработанного пространства во времени практически не изучено.

Цель работы заключается в получении зависимости изменения во времени деформационных свойств обрушенных пород с учетом их физико-механических характеристик.

Для достижения поставленной цели проведен эксперимент, основанный на стандартных методах определения сжимаемости грунтов [5], отличающийся от существующих тем, что структура и пустотность испытуемых породных образцов задавалась искусственно.

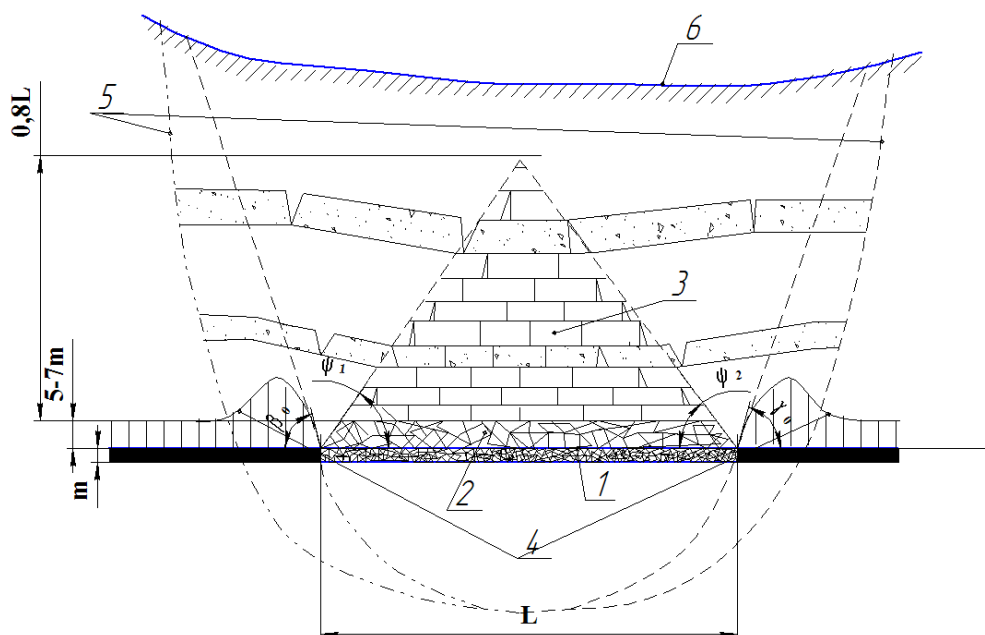
На предварительной стадии эксперимента в лабораторных условиях установлены физико-механические характеристики испытуемых пород: прочность, плотность и влажность.

Прочность породы на одноосное сжатие определялась с помощью полевого пресса БП-14 с использованием зубчатых накладок. Образцы правильной призматической формы, отобранные из забоя при проведении выработки на одной из антрацитовых шахт Восточного Донбасса, поочередно устанавливались между зубчатыми накладками и подвергались воздействию нагрузки. Разрушение образца фиксировалось по манометру, причем для вычисления предела прочности брался максимальный отсчет, фиксируемый в момент разрушения образца. Методом разрушения образцов произвольной формы встречными сферическими инденторами определялся предел прочности на одноосное растяжение. Результаты испытаний пород на прочность приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний пород на прочность

Наименование пород	$\sigma_{сж}$	σ_p	C	$tg\varphi$	φ	Уравнение прямолинейной огибающей кругов Мора
аргиллит	51,35	10,32	8,59	0,6653	33	$\tau = \sigma \cdot tg33^0 + 8,59$
алевролит	68,7	12,94	10,89	0,6830	35	$\tau = \sigma \cdot tg35^0 + 10,89$
песчаник	105,54	11,4	10,29	0,8050	39	$\tau = \sigma \cdot tg39^0 + 11,4$

Пустотность породы играет существенную роль при уплотнении, так как влияет на деформационные показатели и на длительность самого процесса. Численное значение пустотности зависит от плотности породы, размеров ее кусков и расположения их в массиве. Согласно существующим представлениям о сдвигении подработанной толщи при управлении кровлей полным обрушением, вслед за очистным забоем породы обрушаются и образуют свод, состоящий из двух зон, показанных на рисунке 1.



1 – мелкодробленые породы зоны обрушения, 2 – крупнодробленые породы зоны обрушения, 3 – расслоенные породы зоны полных сдвижений, 4 – эпюры опорного давления, 5 – границы влияния очистных работ, 6 – земная поверхность, β_0, γ_0 – граничные углы сдвижений земной поверхности; ψ_1, ψ_2 – углы полных сдвижений пород

Рисунок 1 – Схема сдвижения массива вокруг лавы

Нижний слой пород зоны обрушения высотой близкой к мощности пласта представлен мелкодроблеными, хаотично расположенными породными кусками с линейными размерами до 0,5 м; по мере удаления от него размер кусков постепенно увеличивается и достигает 2,5 м на высоте пять-семь мощностей пласта. Зона полных сдвижений представлена расслоившимися породами, имеет высоту $0,8L$ (где L – длина лавы), сложена крупными блоками с линейными размерами 10-12,5 м и напоминает безрастворную кирпичную кладку.

Обрушенный массив при проведении эксперимента моделировался породой с такими же прочностными характеристиками, как и в натуральных условиях, но размеры ее кусков были существенно уменьшены. Так зона обрушения моделировалась породой с размерами кусков до 1 мм, что по своей сути напоминает песок, а породы зоны полных сдвижений кусками крупностью 2,5-5,0 мм, что является щебнем.

Пустотность песка и щебня возможно рассчитать по формулам 1 и 2 соответственно:

$$V_{n.n} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_y}\right) \cdot 100, \% \quad (1)$$

где ρ_n - насыпной вес образца, г/см³;

ρ_y - плотность породы, г/см³.

$$V_{n.ш} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_o}\right) \cdot 100, \% \quad (2)$$

где ρ_o - объемная масса зерен породы, г/см³.

Плотность породы определялась пикнометрическим способом, ее объемный вес - путем взвешивания в воде парафинированного образца, а насыпной вес методом режущего кольца.

На процесс уплотнения обрушенных пород оказывает влияние влажность, учет которой в эксперименте позволит повысить достоверность получаемых результатов. Численное значение влажности определялось методом высушивания образца до постоянной массы.

На основной стадии эксперимента с учетом структуры, пустотности и влажности образцов проводились компрессионные испытания пород, имеющих различные физико-механические характеристики, на приборе-одометре.

Образец нагружался ступенями с интервалом 50 кПа. На каждой из ступеней фиксировалась величина его осадки с точностью до 0,001 мм с помощью индикатора часового типа, располагаемого на приборе, через 1, 2, 3, 4, 5, 10 мин и т.д. до достижения условной стабилизации. Наблюдение за процессом уплотнения во времени осуществлялось на последней ступени нагружения.

Время достижения условной стабилизации осадки испытуемых пород зависит от их вида, определяемого по показателю консистенции и числу пластичности, вычисляемых на основе значений естественной влажности, влажности на границах текучести и раскатывания. Рассмат-

риваемые породы относятся к твердым супесям, следовательно, согласно [5] период времени, в течение которого наступает условная стабилизация уплотнения, равен 30 мин, а сам процесс уплотнения длится не менее 24 часов.

Для перевода результатов моделирования к натурным значениям введены критерии подобия, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Критерии подобия, учтенные при моделировании процесса уплотнения обрушенных пород

Название критерия подобия	Значение критерия подобия	Условные обозначения
Геометрический α_l	$\alpha_l = \frac{l_n}{l_m} = 2500$	l_n, l_m - линейные размеры соответственно в натуральных условиях и на модели, м
Динамический α_γ	$\alpha_\gamma = \frac{\gamma_n}{\gamma_m} = 1$	γ_n, γ_m - плотность породы соответственно в натуральных условиях и на модели, т/м ³
Кинематический α_t	$\alpha_t = \frac{t_n}{t_m} = \sqrt{\frac{\alpha_l^2 \cdot \alpha_\gamma}{\alpha_p}} = 651,72$	t_n, t_m - время уплотнения пород в натуральных условиях и на модели, с

Исходя из динамического подобия, соотношение между действующими нагрузками в натуральных условиях p_n и на модели p_m составляет 14,715.

Наиболее характерные графические зависимости, полученные в экспериментальной работе, отображены на рисунках 2 и 3.

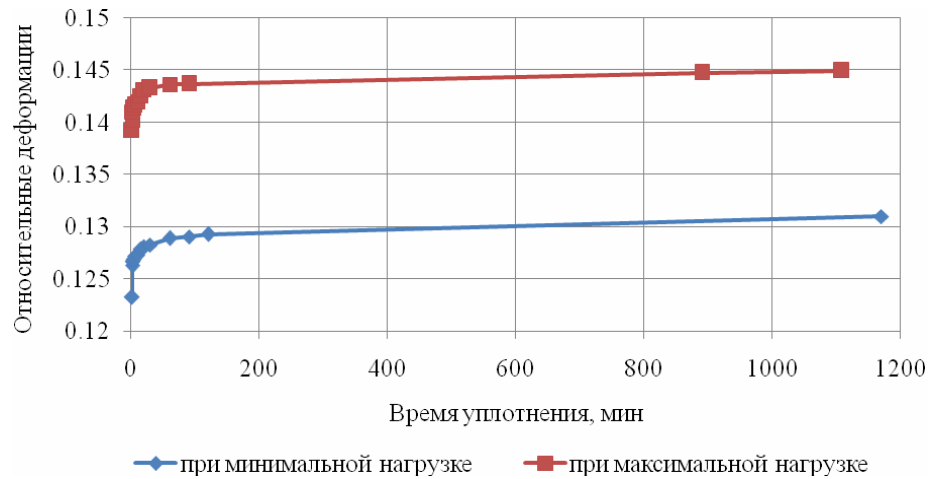


Рисунок 2 – Кривые ползучести обрушенных пород (на примере крупнодробленого песчаника)

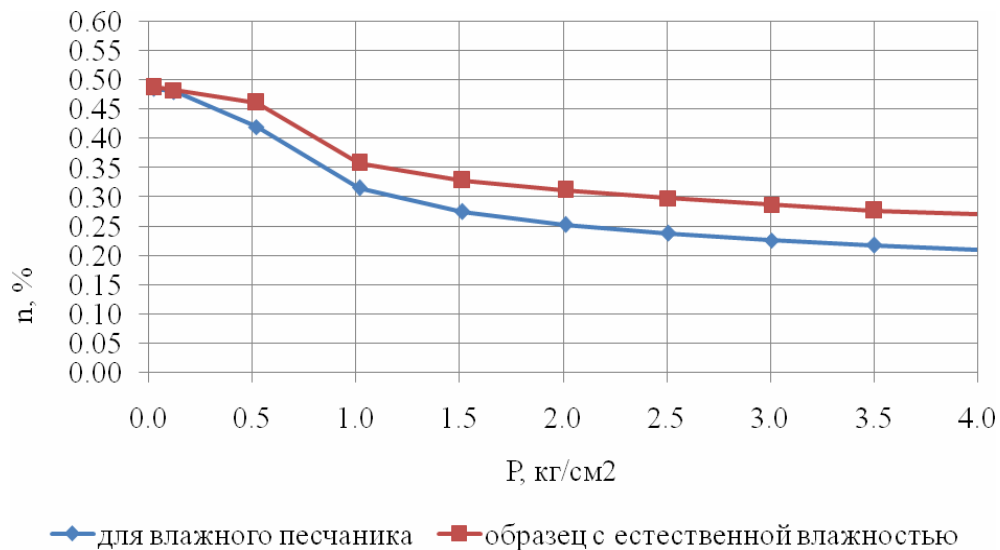


Рисунок 3 – Компрессионные кривые обрушенных пород при различной влажности (на примере крупнодробленого песчаника)

По описанной методике был проведен эксперимент по определению деформационных свойств обрушенных и уплотняющихся пород. В результате получены кривые ползучести раздробленных пород, отражающие зависимость между относительными деформациями и временем уплотнения, и компрессионные кривые, показывающие, как изменяется пустотность пород при различной влажности с ростом нагрузки.

В дальнейшем планируется установить изменение деформационных свойств пород во времени от их физико-механических свойств, пустотности, влажности и действующей нагрузки.

Библиографический список

1. Зборщик М. П. *Охрана выработок глубоких шахт в выработанном пространстве* / Зборщик М. П. - К.: Техника, 1978. - 176 с.
2. Симанович А. М. *Охрана выработок на глубоких горизонтах* / А. М. Симанович, М. А. Сребный. – М.: Недра, 1976. – 144 с.
3. Комиссаров С. Н. *Управление массивом горных пород вокруг очистных выработок* / Комиссаров С. Н. - М.: Недра, 1983. – 237 с.
4. Баклашов И. В. *Деформирование и разрушение породных массивов* / Баклашов И. В. – М.: Недра, 1988. – 271 с.
5. ГОСТ 12248-96. *Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.* – Введ. 1997-01-01. – М.: Минстрой России, 1997. – 54 с. - (Межгосударственный стандарт).

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Клишиным Н.К.