

УДК 622.82: 622.454.2

<https://doi.org/10.37101/ftpgp22.01.002>

**ВЛИЯНИЕ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ  
С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ОТВЕРСТИЕМ НА ИХ МОДУЛЬ УПРУГОСТИ  
ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ ВДОЛЬ ОСИ ОТВЕРСТИЯ**

С.П. Минеев<sup>1\*</sup>, О.А. Усов<sup>1</sup>, Ю.Е. Поляков<sup>1</sup>, А.А. Боднар<sup>2</sup>, Т.М. Уколова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины, г. Днепр, Украина

<sup>2</sup>ЧАО «Донецксталь», г. Покровск, Донецкая обл., Украина

\* Ответственный автор: e-mail: sergmineev@gmail.com

**EFFECT OF WATER SATURATION OF COAL SAMPLES  
WITH A CENTRAL HOLE FOR THEIR ELASTICITY MODULE  
UNDER AXLE COMPRESSION ALONG THE AXIS AXLE**

S.P. Minieiev<sup>1\*</sup>, O.A. Usov<sup>1</sup>, Yu.E. Poliakov<sup>1</sup>, A.A. Bodnar<sup>2</sup>, T.M. Ukolova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

<sup>2</sup>PJSC "Donetsksteel "Iron and steel works" Pokrovsk, Ukraine

\* Corresponding author: e-mail: sergmineev@gmail.com

**ABSTRACT**

**Purpose.** Optimization of hydraulic loosening technology to reduce the outburst hazard of coal seams at great depths by using the effect of their deformation unloading. The research objectives are to obtain on modern equipment deformation curves during water saturation of coal samples according to a scheme similar to the natural conditions - through a hole drilled in the center of the sample and assess the effect of moisture on the elastic modulus and the degree of unloading of the formation from rock pressure.

**Methods.** Comparison of experimental deformation curves of uniaxial compression of a coal sample with a central hole at various values of its moisture content. The moisture content of the sample was changed by injecting water into the central hole of the sample.

**Findings.** The deformation curve has the form of a one-term power dependence. This dependence has a concave character and differs markedly from Hooke's law. With the same deformation, an increase in humidity by 2% reduces stress - by 3.2 times, and the elastic modulus decreases by 2.5 times. These data may become some basis for refining the parameters of the forecast of outburst hazard during mining operations.

**Scientific novelty.** It was found for the first time that a change in the moisture content of a sample changes the curvature of its deformation curve. An increase in

humidity increases the concavity of the deformation curve - the greatest increase in deformation is observed at low stresses.

**Practical implications.** The results obtained will reduce the requirements for the hydraulic treatment pressure of outburst coal seams during preparatory workings at great depths. Due to this, the cost and mass-dimensional characteristics of high pressure pumps are reduced and the productivity of tunneling works is increased.

**Keywords:** deformation curve, stress, humidity, compliance

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Для борьбы с внезапными выбросами применяется нагнетание в угольный пласт воды под высоким давлением [1–3]. Основной эффект гидравлической обработки заключается в разгрузке призабойной части пласта от сил горного давления. Он оценивается сейсмоакустическими измерениями и измерениями газовыделения в контрольные скважины. Разгрузка призабойной части пласта резко снижает вероятность ее динамического разрушения – внезапного выброса [1].

Первоначально считалось, что разгрузка пласта вызвана развитием трещин под действием высокого давления воды. Этот гидросиловой фактор объясняет повышение проницаемости нефтяных пластов в результате их гидроразрыва. В призабойной части выбросоопасных угольных пластов развитие трещин от давления воды приводит к гидроотжиму пласта. Гидроотжим проявляется в форме выдвигания угольного пласта в горную выработку [2].

Но, по мере накопления практического опыта применения гидравлической обработки изменялись представления об основных факторах разгрузки пласта. Оказалось, что разгрузка пласта наблюдается и без его выдвигания в выработку. Этот режим обработки получил название гидрорыхления пласта [3]. Он наблюдается при большей длине фильтрационной камеры скважины, чем при гидроотжиме. А давление воды при гидрорыхлении меньше, чем при гидроотжиме. Поэтому режим гидрорыхления не может быть объяснен только гидросиловым фактором.

Объяснение этой проблемы стали искать в изменении физико-механических свойств угля при его насыщении водой. Первые публикации по экспериментальному исследованию влиянию влаги на физико-механические свойства угля появились более 50 лет назад [4]. Позднее появились и теоретические модели процесса гидрорыхления, учитывающие влияние влаги на физико-механические свойства угля. В первую очередь стал учитываться фактор снижения прочности угля при повышении его влажности [4,5]. В расчеты вводились также изменения коэффициентов внутреннего и внешнего трения [6]. На базе этих работ возникла концепция горно-силовой разгрузки угольного пласта.

Она основана на снижении предела прочности влажного угольного пласта. Его прочность становится меньше напряжений горного давления. Это приводит к деформированию угля за пределом его прочности и снижает несущую способность краевой части пласта. При этом в угле развиваются трещины. Но главный фактор их развития – горное давление, а не давление

воды. В результате снижения несущей способности краевой части пласта зона максимума горного давления смещается в его глубину.

Горно-силовой фактор хорошо объясняет все наблюдения процесса гидрорыхления при высокой нагрузке краевой части угольного пласта горным давлением. Считается, что величина горного давления должна быть не ниже 70% предела прочности угля. Это условие объясняется тем, что прочность влажных образцов угля снижается ~30% [3,4]. Поскольку, при меньшей величине горного давления, чем предел прочности влажного угля, несущая способность краевой части пласта не снижается. И она не должна разгружаться. Но разгрузка все же происходит, хотя и не так интенсивно. Об этом свидетельствуют результаты мониторинга состояния пласта по сейсмоакустическим сигналам, изменению динамики газовыделения и давления нагнетания воды.

Для объяснения разгрузки пласта при не достаточно высоком горном давлении в последние годы разрабатывается концепция деформационной разгрузки пласта [7]. Она основана не на снижении предела прочности, а на увеличении податливости влажного угольного пласта. Податливость угля определяется модулем упругости Юнга и коэффициентом поперечной деформации Пуассона. При повышении влажности модуль Юнга снижается, а коэффициент Пуассона увеличивается. Первые теоретические оценки показали, что механические напряжения в увлажненной области пласта уменьшаются. А за пределами зоны увлажнения напряжения в пласте увеличиваются [8]. Эти результаты подтвердили состоятельность предположения об изменении податливости влажного угля как важного фактора разгрузки при не высоком горном давлении. Однако для надежного математического моделирования деформационной разгрузки пласта имеющихся экспериментальных данных совершенно недостаточно. И они не всегда согласуются друг с другом.

При проведении экспериментов очень важно насыщать угольные образцы в условиях, соответствующих процессу реального нагнетания воды в пласт. В первую очередь это относится к подобию фильтрационных потоков.

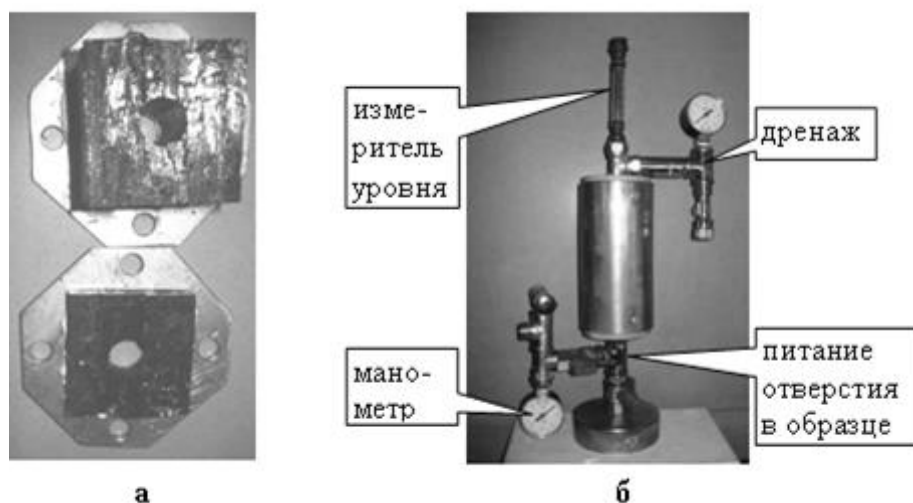
Скважины для нагнетания чаще всего бурятся из подготовительных выработок в плоскости простирания угольного пласта на глубину до 8 м. Устье скважины изолируется герметизатором на глубину до 6 м. Поток воды на первом этапе нагнетания будет трехмерным. А после пропитки пласта в зоне скважины на всю его мощность – двухмерным. Иногда скважины бурятся перпендикулярно к угольному пласту через породную пробку между ним и проводимой горной выработкой. В этом случае поток воды в пласте будет двумерным в течение всего периода нагнетания.

Однако все предыдущие лабораторные исследования проводились для одномерного осевого потока через образцы. Результаты моделирования двумерного потока одномерным не соответствует фильтрационным параметрам реального гидрорыхления [9]. Весьма вероятно, что одномерный поток отличается от двумерного и по особенностям насыщения влагой угольных образцов. Для соблюдения подобия фильтрационных потоков нами был разработан стенд двумерной фильтрации через образцы с центральным отверстием [10].

Детальная разработка концепции деформационной разгрузки пласта имеет важное практическое значение. С повышением глубины разработки выбросоопасных пластов увеличивается величина давления гидрорыхления, которая по действующим нормативным документам рассчитывается исходя из горно-силовой концепции разгрузки пласта [4–6] должно быть  $\sim 40$  МПа. Насосы с таким давлением загромождают сечение подготовительной выработки и создают значительные трудности для ведения основных производственных процессов – доставки и крепления, снижая темпы проведения выработки. Концепция деформационной разгрузки позволит снизить требования к величине давления гидрорыхления выбросоопасных угольных пластов при проведении подготовительных выработок на больших глубинах. За счет этого снижается стоимость и массо-габаритные характеристики насосов высокого давления и повышается производительность проходческих работ.

## 2. МЕТОДЫ

Эксперименты проводились на образцах угля кубической формы размером 40x40x40 мм. Ось центрального отверстия  $\varnothing 8$  мм перпендикулярна напластованию. Торцевые пластины приклеены к образцу – рисунок 1а.



*Рисунок 1. а – вид образца с отверстием, разрушенного вдоль плоскости основания; б – стенд [11] – двумерной фильтрация через образцы с центральным отверстием*

Образец при естественной влажности взвешивался подвергался одноосному сжатию. Направление сжатия совпадало с направлением оси отверстия. Величина механических напряжений сжатия – 8 МПа примерно соответствовала половине предела прочности образца.

После первого цикла сжатия образец помещался в камеру стенда [11] двухмерной фильтрации (рис. 1б) и насыщался водой. Вода в образце двигалась от отверстия к периферии образца. Избыточное давление на контуре отверстия составляло 0,05 МПа. Время нагнетания – 90 минут. После окон-

чания насыщения образец извлекался из камеры стэнда, взвешивался и подвергался одноосному сжатию. Величина механических напряжений сжатия – 8 МПа.

После второго цикла сжатия образец снова помещался в камеру стэнда и насыщался водой в течение 196 мин. Избыточное давление на контуре отверстия было прежним – 0,05 МПа. После второго цикла насыщения водой образец снова взвешивался и подвергался третьему циклу сжатия. Величина механических напряжений сжатия – 8 МПа.

На последнем этапе испытаний образец насыщался под избыточным давлением 0,07 МПа в течение 50 минут. Нагрузка на образец на четвертом цикле не ограничивалась. Механические напряжения сжатия достигли 16 МПа на стадии разрушения образца.

После каждого взвешивания образца определялся прирост влаги  $\Delta W(\%)$  по формуле

$$\Delta W = 100\left(\frac{P}{P_0} - 1\right), \quad (1)$$

где  $P_0$  – вес при естественной влажности;  $P$  – вес после насыщения.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Деформационные кривые одноосного сжатия образца с размерами 40x40x40 mm и отверстием  $\varnothing 8$  mm представлены на рисунке 2.

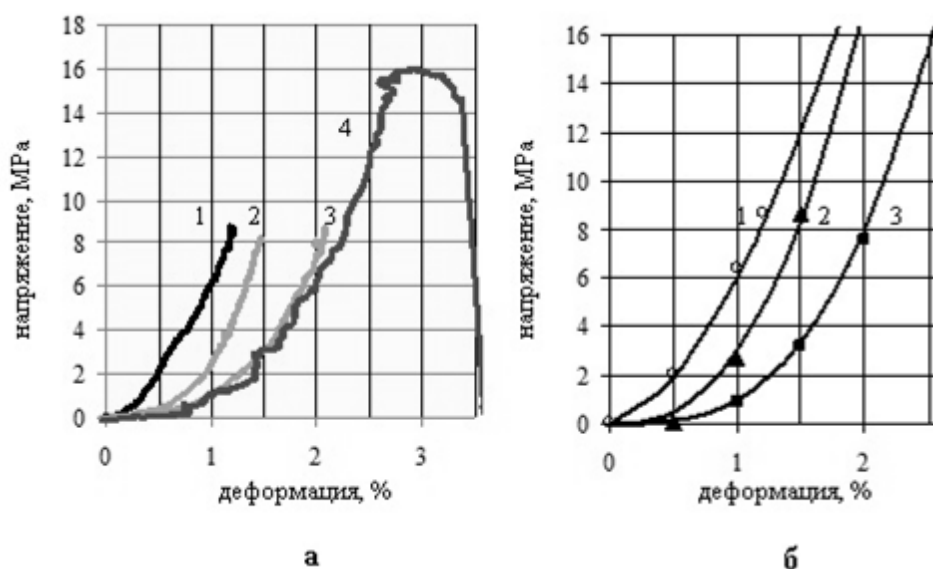


Рисунок 2. Кривые деформации одноосного сжатия: а – эксперимент; б – степенное приближение: 1 –  $\Delta W = 0$ ; 2 –  $\Delta W = 0,9\%$ ; 3 –  $\Delta W = 2\%$ ; 4 –  $\Delta W = 2,2\%$ .

«Линии» на рис. 2а – это слитные экспериментальные точки. «Линии» 1, 2, 3 состоят из 2400–2900 экспериментальных точек. «Линия» 4 состоит из

4600 значений экспериментальных точек. Каждая из «линий» 1, 2, 3 аппроксимировалась полиномом 6-й степени с коэффициентом корреляции  $R^2 = 0,9950 \div 0,9982$ . По полиномиальной аппроксимации выбиралось ограниченное, но представительное количество значений. Они представлены точками на рис. 2б. Эти точки аппроксимировались одночленной степенной зависимостью. Результаты аппроксимации представлены линиями на рис. 2б. Хорошо видна их высокая корреляция с экспериментальными точками.

Напряжения  $\sigma$  и деформации  $\varepsilon_{ph}$  при сжатии образца с центральным отверстием связаны зависимостью

$$\sigma = \bar{E} \cdot \varepsilon_{ph}^N. \quad (2)$$

Коэффициент пропорциональности  $\bar{E}$  имеет размерность напряжения (МПа). Его величина убывает с приростом влажности образца

$$\bar{E} = E_{ph} \cdot [0.126267(\Delta W)^2 - 0.6692(\Delta W) + 1], \quad (3)$$

где  $E_{ph} = 6$  МПа – степенной модуль образца с отверстием при естественной влажности.

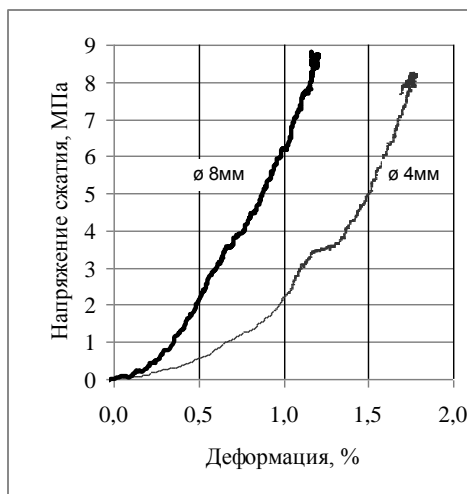
Деформация  $\varepsilon_{ph}$  имеет размерность (%). Показатель степени  $N$  безразмерная величина. Он возрастает с приростом влажности образца

$$N = N_h \cdot [-0.127765(\Delta W)^2 + 0.637824(\Delta W) + 1], \quad (4)$$

где  $N_h = 1,7$  – степенной модуль образца с отверстием при естественной влажности.

Характер степенной зависимости напряжений от деформаций заметно отличается от закона Гука. Это может объясняться несколькими причинами. Например, влиянием зазоров перекосов и несовпадением осей пресса и образца. Эти причины сильнее влияют на кривизну линий в самом начале процесса – до  $0,2 \div 0,3\%$  деформации. Или до 1 МПа осевых напряжений. С ростом напряжений и деформаций положение системы стабилизируется, и кривизна линий уменьшается.

Возможно, значительная кривизна линий связана с малоизученным влиянием отверстия, ориентированного вдоль нагрузки. Может сказываться ограничение скольжения торцов образца по плитам пресса. В процессе экспериментов обнаружена парадоксальная зависимость модуля упругости сухого образца от диаметра центрального отверстия – с увеличением диаметра отверстия модуль упругости падает (рис. 3).



*Рисунок 3. Деформационные характеристики сухого образца при разных диаметрах центрального отверстия*

Но главная, по нашему мнению, причина – слоистая трещиноватость угля. Площадь контактов слоев с трещинами, перпендикулярными нагрузке, заметно меньше площади образца. Из-за этого модуль упругости трещиноватого образца меньше, чем сплошного. А его податливость – деформация при одной и той же нагрузке – больше. Общая податливость угольных образцов растет с повышением их влажности. Но этот рост имеет разную интенсивность. Податливость угольных образцов максимальна при низких нагрузках. При высоких нагрузках податливость минимальна из-за расширения площади контактов между слоями. Этим и объясняется вогнутость деформационных кривых угля.

Повышение податливости пласта в локальной зоне его увлажнения приводит к перераспределению горного давления. Горное давление на увлажненную часть пласта снижается, а на сухую – повышается. Чем и достигается эффект разгрузки призабойной части пласта при проведении подготовительных выработок.

Для расчета параметров деформационной разгрузки пласта с самой высокой точностью нужно разрабатывать итерационную математическую модель на основе степенной зависимости напряжений от деформаций (2–4). Формулы (2–4) должны быть дополнены эмпирическими зависимостями коэффициента поперечной деформации от влажности для разных значений продольной деформации.

При более грубой качественной оценке деформационной разгрузки удобнее применять уже разработанные методы расчета. Они основаны на линейной зависимости напряжений от деформаций – законе Гука. Поэтому возникает необходимость корректного моделирования степенного закона (2) эквивалентным линейным законом.

Известны несколько способов аппроксимации реальной кривой деформирования линейной зависимостью напряжения от деформации. Они показаны на рис. 3а. В работе [5] используется хорда 4, соединяющая начало координат с точкой перехода в неупругий режим экспериментальной линии 1. В

работе [4] использована касательная 2 к точке перехода в неупругий режим экспериментальной линии 1. Полученные этими методами значения модуля упругости не зависят от величины деформации. Мы будем использовать лучевую аппроксимацию. Она изображена линией 3 на рис. 4а. Лучевая аппроксимация позволяет получить зависимость модуля упругости  $E_c$  (МПа) от величины деформации  $\varepsilon_{ph}(\%)$

$$E_c = 100 \cdot \bar{E} \cdot \varepsilon_{ph}^{N-1}. \quad (5)$$

Величины  $\bar{E}$  и  $N$  определяются формулами (3, 4). Коэффициент 100 в правой части появился потому, что деформация в законе Гука  $\varepsilon$  выражается в долях единицы, а не в процентах, как  $\varepsilon_{ph}$ . Они связаны зависимостью

$$\varepsilon_{ph} = 100 \cdot \varepsilon. \quad (6)$$

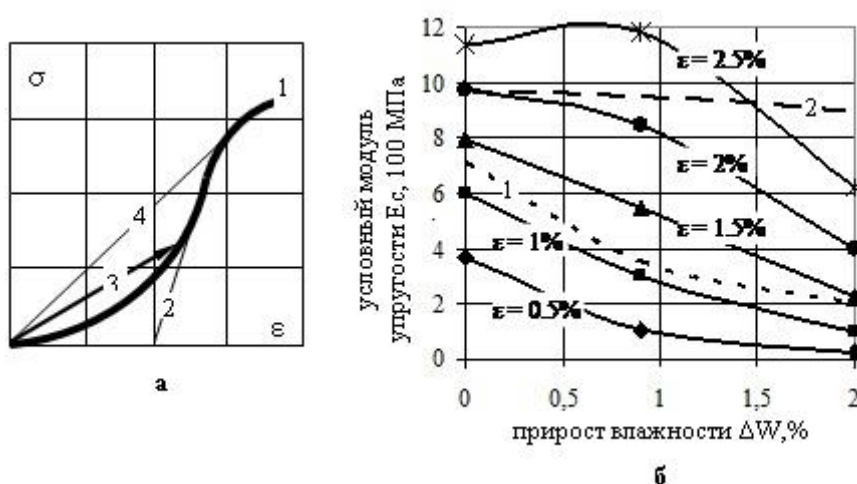


Рисунок 4. а – схема методов расчета условного модуля упругости; б – зависимость условного модуля упругости от увеличения влажности

На рис. 4б представлено семейство значений  $E_c$  при различных деформациях образца. Линия 1 построена по данным [5], линия 2 – по данным [1]. Видно, что лучевой метод и метод хорды (линия 1) гораздо лучше коррелируют между собой, чем с линией 2, полученной методом касательной. Это позволяет утверждать, что линейаризация экспериментальной деформационной кривой методом касательной не адекватно описывает влияние влажности. При численных расчетах лучевой метод предпочтительнее метода хорды. Формула (5) лучше отражает реальные деформационные кривые при различных значениях прироста влажности образцов.

Эксперименты и эмпирические зависимости (3,4) показывают, что при деформации образца  $\varepsilon_{ph} = 1\%$  повышение его влажности на 0,9% снижает осевые напряжения  $\sigma$  в 1,3 раза. А при повышении влажности на 2% осевые напряжения снижаются в 3,2 раза. Это видно по точкам пересечения кривыми 1, 2, 3 вертикальной линии деформации 1% на рис. 2б. Однако, такие вы-



сокие показатели разгрузки характерны только для одноосного сжатия. В угольном пласте, который находится в состоянии объемного, а не одноосного сжатия, снижение напряжений при росте влажности будет далеко не таким впечатляющим. Ориентировочный расчет показывает, что разгрузка от вертикальных напряжений составляет  $\sim 30\%$ , что вполне достаточно для признания деформационной разгрузки остается основным фактором снижения напряжений в пласте при горном давлении, не превышающем  $0,5 \div 0,6$  предела прочности угля.

#### 4. ВЫВОДЫ

Одноосное сжатие перпендикулярно напластованию кубических образцов угля из пласта  $d_4$  шахтоуправление «Покровское» с центральным отверстием, ориентированным вдоль нагрузки показало:

1) Деформационная кривая имеет вид одночленной степенной зависимости (2). Эта зависимость имеет вогнутый характер и заметно отличается от закона Гука.

2) Численные расчеты напряжений по алгоритмам линейной механики лучше проводить с использованием переменного условного модуля упругости. Условный модуль упругости зависит от деформации и определяется формулой (5).

3) Зависимость модуля упругости от влажности определяется формулами (3–5). Их использование не требует знания естественной влажности – важен только ее прирост. При одной и той же деформации повышение влажности на 2% снижает модуль упругости в 2,5, а напряжения – в 3,2 раза.

4) При гидрорыхлении пластов деформационная разгрузка является основным фактором снижения напряжений в пласте при горном давлении, не превышающем  $0,5 \div 0,6$  предела прочности угля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минеев С.П. (2016). *Прогноз и способы борьбы с газодинамическими явлениями на шахтах Украины*. Мариуполь: Восточный издательский дом, 258 с.
2. Коптиков В.П., Бокий Б.В., Минеев С.П., Южанин И.А., & Никифоров А.В. (2016). *Совершенствование способов и средств безопасной разработки угольных пластов, склонных к газодинамическим явлениям*. Донецк: Проминь, 480 с.
3. Минеев С.П., Потапенко А.А., Мхатвари Т.Я., Никифоров А.В., Кузюра С.В., & Тимофеев Э.И. (2013). *Повышение эффективности гидрорыхления выбросоопасных угольных пластов*. Донецк: Східний видавничий дім. 216 с.
4. <http://fccland.ru/gornye-udary/3103> – html
5. Чернов О.И., Розанцев Е.С. (1975). *Подготовка шахтных полей с газовой-бросоопасными пластами*. Москва: Недра, 287 с.
6. Vasilyev, D., Polyakov, Y., & Potapenko, A. (2013). Method of calculation of the minimum pressure of hydro breaking of the coal layer. *Mining of Mineral Deposits*. – Leiden, The Netherlands: CRC Press/Balkema, 177–179,
7. Усов О.А., & Поляков Ю.Е. (2016). Факторы влияния гидрообработки угля на разгрузку призабойной части массива. *Геотехническая механика*, (129), 166–172
8. Поляков Ю.Е. (2016). Деформационная модель разгрузки увлажненного угольного массива. *Геотехническая механика*, (130), 125–136

9. Усов О.А. (2015). Оценка соответствия линейного закона фильтрации воды реальной динамике изменения ее давления при нагнетании в угольные пласты. *Геотехническая механика*, (120), 93–101

10. Усов О.А., Минеев С.П., Дякун Р.А., Поляков Ю.Е., Трохимец Н.Я., Янжула А.С., Рудь В.П. (2017). Лабораторные исследования двумерной фильтрации воды через угольные образцы. Форум гірників - 2017: матеріали міжнар. конф., 4-7 жовтня 2017р., м. Дніпро. – Д.: Національний гірничий університет, с. 298–307

## REFERENCES

1. Mineyev S.P. (2016). Prognoz i sposoby bor'by s gazodinamicheskimi yavleniyami na shakhtakh Ukrainy. Mariupol': Vostochnyy izdatel'skiy dom, 258 s.

2. Koptikov V.P., Bokiy B.V., Mineyev S.P., Yuzhanin I.A., & Nikiforov A.V. (2016). Sovershenstvovaniye sposobov i sredstv bezopasnoy razrabotki ugol'nykh plastov, sklonnykh k gazodinamicheskim yavleniyam. Donetsk: Promin', 480 s.

3. Mineyev S.P., Potapenko A.A., Mkhartvari T.Ya., Nikiforov A.V., Kuzyara S.V., & Timofeyev E.I. (2013). Povysheniye effektivnosti gidrorykhleniya vybrosoopasnykh ugol'nykh plastov. Donetsk: Skhidniy vidavnichiy dim. 216 s.

4. <http://fccland.ru/gornye-udary/3103> – html

5. Chernov O.I., Rozantsev Ye.S. (1975). Podgotovka shakhtnykh poley s gazovybrosoopasnymi plastami. Moskva: Nedra, 287 s.

6. Vasilyev, D., Polyakov, Y., & Potapenko, A. (2013). Method of calculation of the minimum pressure of hydro breaking of the coal layer. *Mining of Mineral Deposits*. – Leiden, The Netherlands: CRC Press/Balkema, 177–179,

7. Usov O.A., & Polyakov Yu.Ye. (2016). Faktory vliyaniya gidroobrabotki uglya na razgruzku prizaboynoy chasti massiva. *Geotekhnicheskaya mekhanika*, (129), 166–172

8. Polyakov Yu.Ye. (2016). Deformatsionnaya model' razgruzki uvlazhnennogo ugol'nogo massiva. *Geotekhnicheskaya mekhanika*, (130), 125–136

9. Usov O.A. (2015). Otsenka sootvetstviya lineynogo zakona fil'tratsii vody real'noy dinamike izmeneniya yeye davleniya pri nagnetanii v ugol'nyye plasty. *Geotekhnicheskaya mekhanika*, (120), 93–101

10. Usov O.A., Mineyev S.P., Dyakun R.A., Polyakov Yu.Ye., Trokhimets N.Ya., Yanzhula A.S., Rud' V.P. (2017). Laboratornyye issledovaniya dvumernoy fil'tratsii vody cherez ugol'nyye obraztsy. Forum гірників - 2017: матеріали міжнар. конф., 4-7 жовтня 2017р., м. Дніпро. – Д.: Національний гірничий університет, с. 298–307

## ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

**Мета.** Оптимізація технології гідророзпушування для зниження викидонебезпечності вугільних пластів на великих глибинах за рахунок використання ефекту їх деформаційної розвантаження. Завданнями досліджень є отримання на сучасному обладнанні деформаційних кривих при водонасиченні зразків вугілля за наближеною до натурних умов схемою – через отвір, просвердлений в центрі зразка і оцінка впливу вологи на модуль пружності і ступінь розвантаження пласта від гірського тиску.

**Методика.** Порівняння експериментальних деформаційних кривих одновісного стиску зразка вугілля з центральним отвором при різних значеннях його вологості. Вологість зразка змінювалася шляхом нагнітання води в центральний отвір зразка.

**Результати.** Деформаційна крива має вигляд одночленної ступеневої залежності. Ця залежність має увігнутий характер і помітно відрізняється від закону Гука. При одній і тій же деформації підвищення вологості на 2% знижує напруження – в 3,2 рази, а модуль пружності знижується в 2,5 рази. Ці дані можуть стати певною основою для уточнення параметрів прогнозу викидонебезпечності при веденні гірських робіт.

**Наукова новизна.** Вперше встановлено, що зміна вологості зразка змінює кривизну його деформаційної кривої. Підвищення вологості збільшує увігнутість деформаційної кривої – найбільший приріст деформації спостерігається при не високій напруженні.

**Практична значимість.** Отримані результати дозволять знизити вимоги до величини тиску гідрообробки викидонебезпечних вугільних пластів при проведенні підготовчих виробок на великих глибинах. За рахунок цього знижується вартість і масо-габаритні характеристики насосів високого тиску і підвищується продуктивність прохідницьких робіт.

**Ключові слова:** деформаційна крива, напруження, вологість, викидонебезпечність, податливість

#### ABSTRACT (IN RUSSIAN)

**Цель.** Оптимизация технологии гидрорыхления для снижения выбросоопасности угольных пластов на больших глубинах за счет использования эффекта их деформационной разгрузки. Задачами исследований является получение на современном оборудовании деформационных кривых при водонасыщении образцов угля по приближенной к натурным условиям схеме – через отверстие, просверленное в центре образца и оценка влияния влаги на модуль упругости и степень разгрузки пласта от горного давления.

**Методика.** Сравнение экспериментальных деформационных кривых одноосного сжатия образца угля с центральным отверстием при различных значениях его влажности. Влажность образца изменялась путем нагнетания воды в центральное отверстие образца.

**Результаты.** Деформационная кривая имеет вид одночленной степенной зависимости. Эта зависимость имеет вогнутый характер и заметно отличается от закона Гука. При одной и той же деформации повышение влажности на 2% снижает напряжения – в 3,2 раза, а модуль упругости снижается в 2,5 раза. Эти данные могут стать некоторой основой для уточнения параметров прогноза выбросоопасности при ведении горных работ.

**Научная новизна.** Впервые установлено, что изменение влажности образца изменяет кривизну его деформационной кривой. Повышение влажности увеличивает вогнутость деформационной кривой – наибольший прирост деформации наблюдается при не высоких напряжениях.

**Практическая значимость.** Полученные результаты позволят снизить требования к величине давления гидробработки выбросоопасных угольных пластов при проведении подготовительных выработок на больших глубинах. За счет этого снижается стоимость и массо-габаритные характеристики насосов высокого давления и повышается производительность проходческих работ.

**Ключевые слова:** деформационная кривая, напряжения, влажность, выбросоопасность, податливость

### **ABOUT AUTHORS**

Mineev Sergey, Doctor of Technical Science, Professor, Department head, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600.

E-mail: sergmineev@gmail.com

Usov Oleh, Candidate of Technical Science, Senior Researcher, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600

Polyakov Yuriy, Junior Researcher, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600

Bodnar Andrii, Leading specialist, PJSC "DONETSKSTEEL "IRON AND STEEL WORKS", 1 Shakhtarov Street, Pokrovsk, Ukraine, 85300

Ukolova Tatyana, leading engineer of the department of management of dynamic manifestations of rock pressure Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600