

---

**ГЕОМЕХАНІКА**

---

УДК 622.023.23

DOI: 10.20535/2079-5688.2017.32.85870

**Я.А. Ляшок**, д.э.н, доц., **С.В. Подкопаев**, д.т.н., проф., **И.В. Иорданов**, к.т.н.,  
**Д.А. Чепига**, асп., **Ю.И. Симонова**, инж. (ГБУЗ «Донецкий национальный  
технический университет», г. Покровск, Украина)

---

**О РЕАЛЬНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ  
РАЗГРУЗКЕ**

---

**Ia.A. Liashok, S.V. Podkopaev, I.V. Iordanov, D.A. Chepiga, Iu.I. Simonova**  
(Public higher education institution Donetsk National Technical University,  
Pokrovsk)

---

**ABOUT REALITY FRACTURE COAL ROCK MASS DURING  
UNLOADING**

---

*В результате выполненных экспериментальных исследований было установлено, что реальным является разрушение породного массива не только при росте его напряженности, но и в результате разгрузки. При этом необходимо учитывать свойства горных пород и фактор времени. Реологические свойства осадочных горных пород необходимо учитывать при разработке мероприятий, направленных на повышение безопасности работ, для прогнозирования обрушений и обвалов боковых пород при эксплуатации горных выработок на современных глубинах разработки угольных пластов.*

**Ключевые слова:** углепородный массив; керн; деформирование горных пород; ультразвуковые волны; трехосное сжатие.

*В результаті виконаних експериментальних досліджень було встановлено, що реальним є руйнування породного масиву не тільки в результаті зростання напруженості масиву, але і при його схильності до розшарування. При цьому необхідно враховувати вологість гірських порід і фактор часу. Реологічні властивості осадових гірських порід після їх розвантаження, необхідно враховувати при розробці заходів, спрямованих на підвищення безпеки робіт.*

**Ключові слова:** вуглепородний масив; керн; деформація гірських порід; ультразвукові хвилі; тривісне стиснення.

*Destruction of the rock mass is due to the growth of solid strength and its tendency to delamination was found as a result performed experimental studies. It should be borne moisture rocks and time factor. The development of measures to improve work safety the rheological properties of sedimentary rocks after they download should be considered.*

**Keywords:** coal-and-rock mass; core-sample; rock deformation; ultrasonic waves; triaxial compression.

**Введение.** Общеизвестно, что осадочные горные породы обладают особенностью деформироваться во времени без увеличения напряжений,

проявляя при этом свойства ползучести.

Проявления горного давления в горных выработках, сдвигание толщ пород при выемке угля, разгрузка угленосного массива и его расслоение, внезапные обрушения горных пород, все это следствие изменения их напряженного состояния, связанные с проявлением реологических свойств.

В результате многочисленных исследований особенностей деформирования и разрушения массива осадочных горных пород, проведенных в ДонНТУ, было установлено, что ему присуще свойство наследственности – зависимости наблюдаемых деформаций от всей предыдущей истории нагружения [1].

Изучение свойств ползучести горных пород было положено Д.Филлипсом, Д.Григгсом и К.Штокке [2, 3, 4]. Результаты выполненных ими исследований указывают на то, что фактор времени существенно влияет на деформативность образцов горных пород. Последние, при длительном воздействии напряжений, проявляют свойства ползучести.

Изучение поведения образцов горных пород, в состоянии трехосного неравнокомпонентного сжатия, открыло огромные перспективы для исследования их напряженно-деформированного состояния и использования полученных данных в практике. Наиболее ранние сведения о поведении горных пород в условиях объемного напряженного состояния приведены в работах Ф.Кике и Л.Адамса [5, 6]. Проведенными тогда исследованиями было установлено, что в условиях высоких давлений предел прочности типичных хрупких материалов (к которым следует относить горные породы) возрастает. Экспериментальные образцы приобретали заметную пластическую деформацию, которая при их сжатии всегда сопровождалась сложным изменением объема.

П.В. Бриджмен [7] подтвердил этот эффект и установил, что увеличение объема испытываемых образцов практически обратимо при снятии нагрузки. В предшествующий разрушению период, в структуре некоторых материалов под действием напряжений могут происходить обратимые изменения, которые достигнув некоторой критической величины, вызывают неустойчивость структуры материала и его последующее разрушение при разгрузке.

Подтверждением этих экспериментов являются результаты, описанные в [8], когда испытывали образцы нефтеносных известняков, после разгрузки которых было отмечено их расслоение на тонкие диски, перпендикулярные к оси максимальных сжимающих напряжений.

Приоритет экспериментального изучения механизма разделения кернов горных пород на диски при бурении скважин принадлежит Л.Оберту и Д.Е.Стефенсону [9]. Они доказали реальность разрушения кернов на диски при бурении скважин в породах только при достижении определенного условия напряженности и разрушения горных пород при разгрузке, находившихся в сложноподвижном состоянии трехосного сжатия. Очевидно, что трехосное сжатие образцов горных пород, если компоненты его значительны, приводит к

неупругому деформированию и обуславливает приобретение нового свойства, способность разрушаться при разгрузке.

**Целью работы** является доказательство реальности разрушения породного массива не только от роста его напряженности, но и в результате разгрузки (после снятия напряжений)

**Результаты исследования.** Для подтверждения рассмотренных нами положений на установке ДонФТИ НАН Украины были проведены эксперименты, позволяющие создать трехосное неравнокомпонентное сжатие. Методическая схема заключалась в следующем. Испытания проводились на образцах-кубиках размерами 55х55х55мм из гипса. На основании испытаний 8 образцов рассчитывалось среднее значение предела прочности одноосному сжатию ( $\sigma_{сж}$ ). Когда образцы помещались в испытательную камеру и создавалось трехосное сжатие по схеме Т.Кармана [10], эксперименты, в данном случае, связывались не с глубиной разработки, а с установленной величиной  $\sigma_{сж}$ . Образцы выдерживались под нагрузкой в течении 14 сут., когда происходили деформации ползучести, контроль которых осуществлялся индикаторами часового типа (с ценой деления 0,01 мм), по деформациям металлических пластин пресса. Понимая несовершенство таких измерений для оценки действительных деформаций ползучести, их использовали лишь для качественной оценки развития и завершенности при трехосном сжатии. После снятия нагрузки образцы извлекли из испытательной камеры и разместили на специальном стенде. В течении последующих 14 суток регистрировали процесс разгрузки экспериментального образца.

Для того, чтобы «зримо» доказать реальность разгрузки после их сжатия, в образцах (при их изготовлении) разместили два маленьких кусочка свинца. После снятия нагрузки образцы поместили в рентгеновскую установку (аппарат РУТА-1-1, блок управления ШН, трубки РИДЗ-4) и измерили положение свинцовых включений. Во время эксперимента расстояние от трубки до образца составило 1м, просвечивание производили по 2,5с. [11]. Эксперимент повторили после 14 суток.

На рис.1 показан рентгеновский снимок образца гипса до нагружения (а), после снятия напряжений (б) и через 14 суток (в), когда образец находился на стенде в свободном состоянии. Следует отметить, что расстояние между кусочками свинца (беленькие почти треугольники) с 49 мм уменьшилось до 41мм, а затем в результате разгрузки возросло до 48 мм. Эти изменения отмечены даже визуально, они доказывают реальность процесса разгрузки, величина деформаций которого на многие порядки превосходит упругие деформации. Для доказательства реальности разгрузки образцов горных пород, нами были проведены эксперименты по исследованию их деформируемости во времени, но только после снятия напряжений.

Изготовленные образцы из гипса (3 образца), после определения предела прочности на сжатие, загрузили также по схеме Т.Кармана. Они находились в течение 500 часов в состоянии трехосного неравнокомпонентного сжатия, сопровождающегося деформациями ползучести. После разгрузки образцы

поместили на стенд и с помощью прибора УКБ-1М, методом прямого прозвучивания, определили время прохождения звукового сигнала при частоте ультразвука соответствующей 25кГц. Отсчеты проводились в течении 400 часов.

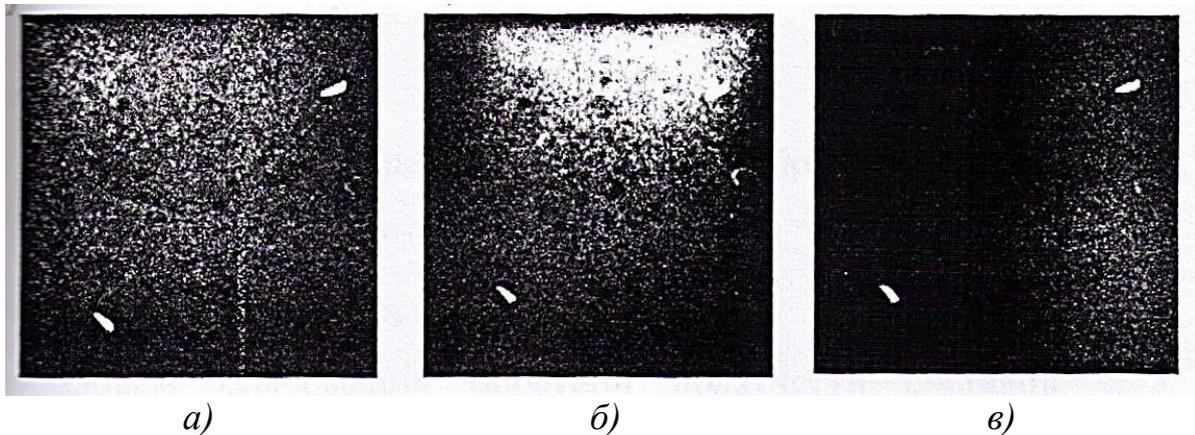


Рис. 1. Рентгеновский снимок образца гипса до нагружения (а), после снятия напряжений (б) и через 14 суток, после разгрузки (в)

Обработка экспериментальных данных осуществлялась по методике [12]. По их результатам был построен график изменения скорости прохождения ультразвуковых волн через исследуемый образец во времени (рис.2)

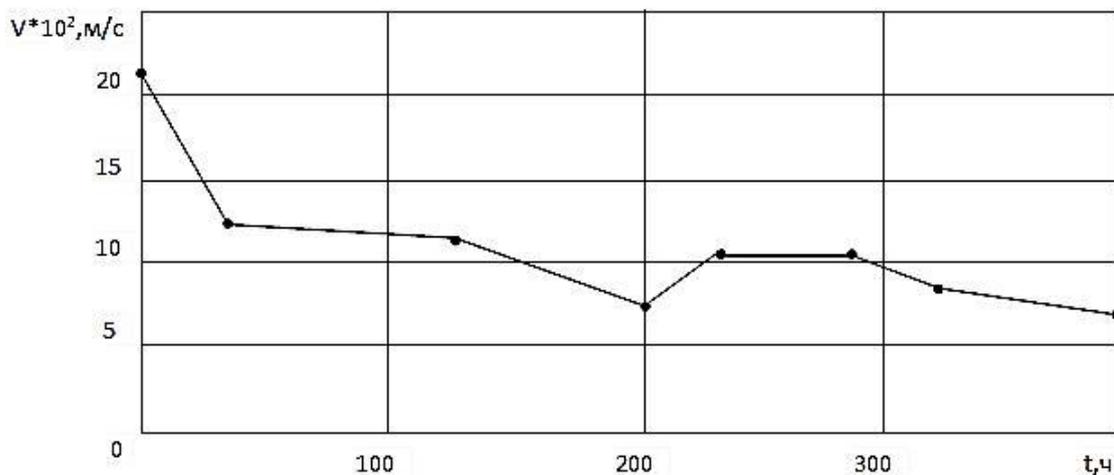


Рис. 2. Изменение прохождения ультразвуковых волн в образце из гипса

Представленный график доказывает изменения в структуре исследуемого образца, что подтверждается уменьшением скорости прохождения ультразвуковых волн частотой 25 кГц. Этот процесс разгрузки во времени подтверждает наличие своеобразного эффекта «разрыхления» образцов горных пород. Следует отметить, что эти эксперименты полностью не отражают реальное поведение пород, извлеченных из углепородного массива, но подтверждают реальность процесса разгрузки (разрушения) после снятия напряжений.

Для доказательства этого положения аналогичные эксперименты (в течении 52 суток), были проведены на образцах песчанистого сланца шахты им. А.И. Гаевого (глубина 975м) и глинистого сланца шахты им. А.А.Скочинского (глубина 1026м). Образцы были отобраны из креновой скважины. Результаты экспериментов представлены на рис.3.

Ломаная зависимость 1 указывает на снижение скорости прохождения ультразвуковых волн во времени, подтверждая эффект «разрыхления» песчанистого сланца во времени после разгрузки. Ломаная зависимость 2 описывает ранее проведенные эксперименты на образцах глинистого сланца шахты им. А.А.Скочинского [13], в которых отмечается такая же закономерность.

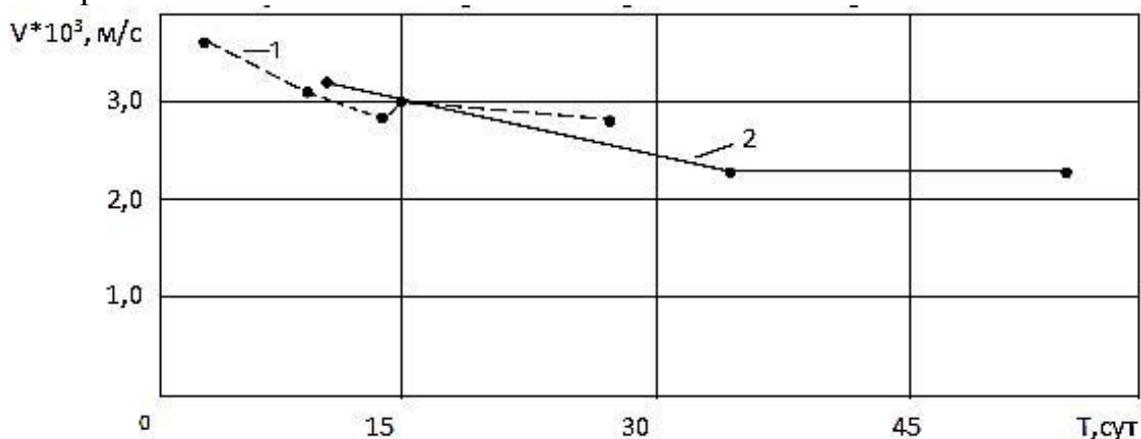


Рис. 3. Изменение скорости прохождения ультразвуковых волн в песчанистом сланце (1) и глинистом сланце (2)

С позиций рассматриваемых задач, это явление может рассматриваться как своеобразное доказательство «структурной перестройки» образцов горных пород, приводящей, с течением времени, не только к увеличению их объема, но и разрушению.

Рассмотрим серию продолжительных экспериментов, которые были выполнены на образцах песчанистого и глинистого сланца, отобранных с глубины 820м, 975м и 1000м шахт Донбасса. Образцы отбирали за пределами влияния горных работ, после колонкового бурения экспериментальных скважин. В основу исследований было положено явление, возникающее при передвижении смачивающей жидкости по капиллярам различных размеров (диаметров) [14].

Эксперименты проводились по следующей методике. Из кернов выбрали 56 проб образцов. Пробы разделили в лаборатории по группам (7-8 образцов в каждой группе) и содержали их там в течении 1200 суток при нормальном атмосферном давлении и комнатной температуре. По каждой группе образцов измеряли уменьшение их массы до стабилизации. Затем, в соответствии со стандартной методикой (ГОСТ 11014-81) образцы помещали в сушильный шкаф и при  $t=105-110^{\circ}\text{C}$  высушивали в течении одного часа. После взвешивания высушенных образцов устанавливали их физически связную

влажность ( $W_{ф.с.}$ ). Максимальную влагоемкость  $W_{п.}$  определяли после насыщения (в течении 10 суток) экспериментальных образцов водой. Эксперименты проводились в течении 1200 суток. Основным смыслом экспериментов заключался в оценке уменьшения физически связанной влажности, прироста влажности образцов и влияния на названные процессы их разгрузки. Все взвешивания производились на специальных электронных весах (тип ВЛР-200г ГОСТ 24104-80) с точностью до третьего после единицы знака. При изучении деформирования образцов горных пород изменение их влажности рассматривали не только как физическую характеристику, но и как критерий увеличения их объема и перераспределения соотношения объемов пор соответствующих размеров, но обладающих принципиально различными свойствами.

На рис. 4 показано изменение величин максимальной влагоемкости и физически связанной влажности образцов осадочных горных пород во времени после их разгрузки. Установленные зависимости доказывают изменение структуры порового пространства и перераспределение пор размерами  $>10^{-7}$  м и  $<10^{-7}$  м в исследуемых образцах, подтверждая тем самым не только склонность углепородного массива к водо- и газоотдаче, но и его разгрузку и последующее расслоение (разрушение).

Ранее было установлено [14], что в капиллярах диаметром  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  см при наличии электрокинетического потенциала флюид протекать не будет, под каким бы давлением он не находился. Уравнение Лапласа [15] подтверждает эффект увеличения диаметра пор в результате разгрузки образцов осадочных горных пород. Поэтому испарение воды из образцов пористых горных пород, которое было нами установлено, и приобретение воды высушенными образцами этих же пород из атмосферы, доказывает общность природы названных явлений. Подтверждением этого является зависимость роста числа пор размерами  $\geq 10^{-7}$  м из числа тех, которые раньше были  $<10^{-7}$  м и, из которых испарение воды ранее было невозможным, что доказывают полученные в лабораторных условиях данные экспериментов (кривые 1 и 2, рис.4)

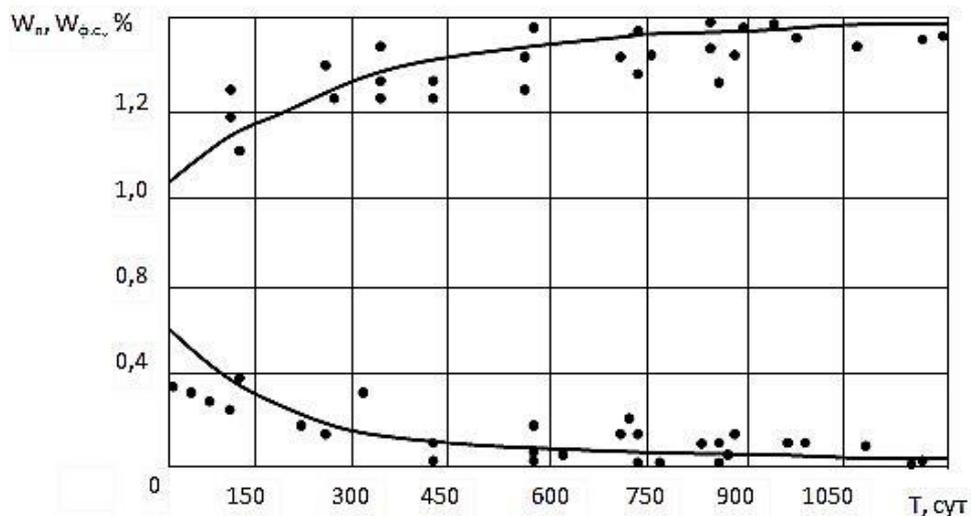


Рис. 4. Зависимости изменения максимальной влагоемкости  $W_{п.}$  (1) и

физически связанной влажности  $W_{ф.с.}$  (2) от времени образцов осадочных горных пород шахт Донбасса

В результате проведенных исследований было установлено так же уменьшение прочности образцов на 19-24%, что свидетельствует об их структурном ослаблении. Однако, в данном случае, структурные ослабления не являются поверхностями скольжения и разрыва непрерывности деформаций и смещений, а являются лишь элементами структуры массива горных пород, снижающих прочностные показатели. Необходимо отметить, что за весь период проведения исследований, некоторые образцы расслоились (разделились на диски).

Таким образом, в ходе выполненных исследований было установлено, что при изучении процессов деформирования горных пород, реальным является разрушение породного массива не только при росте напряженности, но и при его разгрузке. В результате структурного ослабления массива на больших площадях (при наличии поверхностей скольжения), разрушение будет сопровождаться расслоением горных пород, с последующим обрушением в выработку. В связи с этим, совершенно очевидной становится необходимость более глубокого экспериментального изучения природы и особенностей разрушения осадочных пород при разгрузке, в том числе с учетом фактора времени.

### Выводы

В результате выполненных экспериментальных исследований по изучению особенностей деформирования и разрушения осадочных горных пород было установлено, что разгрузка (разрушение) экспериментальных образцов, является результатом изменения структуры их порового пространства. При этом необходимо учитывать фактор времени. Этот процесс сопровождается структурным ослаблением образцов осадочных горных пород и способствует снижению их прочности, с последующим возможным расслоением. В связи с этим, при разработке мероприятий, направленных на повышение устойчивости боковых пород, снижения уровня травматизма в очистных забоях и при проведении и поддержании выработок, необходимо учитывать свойства массива осадочных горных пород при его разгрузке, т.е. при ведении горных работ.

### Список использованных источников

1. Ержанов, Ж.С. Ползучесть осадочных горных пород. Теория и эксперимент [Текст] / Ж.С. Ержанов, А.С. Сагинов, Г.Н. Гуменюк, А.А. Сарсембаев. – Алма-Ата: Наука, 1970. – 208с.
2. Phillips, D.W. Tectonics of Mining. Colliery Eng. [Text] / D.W. Phillips. – 1948 –р.293-297.
3. Griggs, D.T. Creep of rocks. J.Geol [Text] / D.T. Griggs. –1937.–Vol.47. –

- р. 12-14
4. Ржаницын, А.Р. Теория ползучести [Текст] / А.Р. Ржаницын – М.: Стройиздат. - 1968. – 415 с.
  5. Kick, F. Die Prinzipien der mechanischen Technologie und die Festigkeitslehre. Z.Verein.dtsch.Ing. [Text] / F. Kick – 1932. – №10 – р. 26-39
  6. Adams, L.H. Philos.Trans.london [Text] / L.H. Adams – 1901. – р. 22-40.
  7. Бриджмен, П.В. Исследование больших пластических деформаций и разрыва [Текст] / П.В. Бриджмен – М.:Изд-во иностр.лит-ры, 1955. – 440 с.
  8. Бузер, Г.Д. Влияние поровой жидкости на деформационное поведение горных пород при трехосном сжатии [Текст] / Г.Д. Бузер, К.Х., Хиллер, С. Серденгекти // Механика горных пород. – М.:Недра, 1966. – с. 372–406
  9. Разрушение. Микроскопические и макроскопические основы механики разрушения [Текст] / Под ред. Г.Либовица. – М.: Мир, 1973. – т.1. – 616 с.
  10. Ставрогин, А.Н. Экспериментальная физика и механика горных пород [Текст] / А.Н. Ставрогин, Б.Г. Тарасов – СПб.: Наука, 2001. – 343 с.
  11. Линденбратен, Л.Д. Медицинская радиология [Текст] / Л.Д. Линденбратен, Ф.М.Лен. – М.: Медицина, 1986. – 368с.
  12. Потапкин, И.Ф. Лабораторный практикум по курсу «Физика горных пород и процессов» [Текст] / И.Ф.Потапкин, А.Г.Томасов, Н.Н.Гавриш и др. – Донецк, ДПИ, 1991. – 43 с.
  13. Николин, В.И. Особенности проявления горного давления на глубинах 1200м [Текст] / В.И. Николин, Н.В.Игнатович, В.А. Шепеленко // Уголь Украины, 1994. – №5. – с.12–15.
  14. Харин, С.Е. Физическая химия [Текст] / С.Е.Харин – К.:КГУ, 1961. – 424с.
  15. Миронов, Н.П. Механизм движения жидкости в угольном пласте [Текст] / Н.П.Миронов // Нагнетание воды в угольные пласты для повышения безопасности горных работ. – М.: Недра, 1965. – с. 65-73.

*Статья поступила в редакцию 09.12.2016 г.*

УДК 622.272.4

DOI: 10.20535/2079-5688.2017.32.91375

**А.М. Самедов**, д.т.н., проф., **В.И. Охрименко**, магистр (КПИ им. И. Сикорского)

**ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ОСНОВАНИЙ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И СПОСОБЫ ИХ  
УСИЛЕНИЙ**

**A.M. Samedov, V.I. Okhrimenko** (National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”)