

УДК 622.831

Докт-ра техн. наук. Александров С.Н., Ефремов И.А., Подкопаев С.В.  
(ДонНТУ)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

*Установлены экспериментальные зависимости доказывающие реальность процесса разгрузки образцов горных пород во времени, изменения структуры порового пространства исследуемых образцов и их склонность к водо и газоотдаче.*

Современные представления о разрушении горных массивов, сложенных породами различной прочности и вмещающих выработки, основаны на главенствующей роли напряжений. Так, в начале сороковых годов XX столетия П.Бриджмен, испытывая образцы цилиндры, различных горных пород в установках для трёхосного сжатия при  $\sigma_z > \sigma_x = \sigma_y$ , совершенно неожиданно обнаружил разрушение при разгрузке, выразившееся в образовании пластин – дисков, плоскости которых были перпендикулярны направлению максимальных напряжений сжатия. [1].

Позже, подобное разрушение при разгрузке на пластины, обнаружили Г.Бузер, К.Хиллер, Н.Серденгекти тоже при испытании образцов пород в установках для трёхосного сжатия. [2].

Изучая механизм деления керна на диски Л.Оберт и Д.Стефенсон [3] в лабораторных условиях после бурения колонковых скважин в породах, находившихся в состоянии трёхосного сжатия, пришли к выводу, о том, что разделение кернов на диски происходит под действием возникающих при бурении напряжений среза. Такое же разделение кернов на диски было отмечено и при бурении скважин в выбросоопасных слоях (Германия), в породах,

склонных к горным ударам (США), при бурении сверхглубокой скважины на Кольском полуострове (Россия).

Эксперименты, выполненные в МакНИИ, ИГТМ НАН Украины и ДонНТУ [4,5,6 ], позволили установить, что разрушение при разгрузке, в том числе разделение кернов на диски возможно только в том случае, когда после трёхосного сжатия имели место неупругие деформации некоторого объема. Впервые, это явление в твёрдых телах объяснил Максвелл, рассматривая полную пластическую деформацию в виде алгебраической суммы упругой и чисто вязкой деформации.

Изложенное привело к важному выводу о том, что на современных глубинах разработки реальным является разрушение породного массива при разгрузке. Речь идёт о мгновенной разгрузке и о необычном разрушении, имеющем место при выбросах угля и газа, выбросов породы и газа.

Экспериментальное изучение явления разгрузки горных пород производится с начала XX века. Эксперименты детально описаны и проанализированы в [7]. Однако при их выполнении совершенно не учитывалась история формирования месторождений (генезис), приведшая к возникновению у горных пород генетической памяти об имевших место изменениях напряжённо – деформированного состояния массива, происходивших одновременно с физико – химическими превращениями.

Очевидно, процесс формирования осадочного (угленосного) массива следует рассматривать как комплекс процессов, включающих не только постепенное увеличение глубины погружения, уплотнение, но и физико – химические превращения органического материала, что всё вместе обусловило современные свойства осадочных пород в массиве. Поэтому при наличии этих процессов имели место термодинамические закономерности процесса деформирования, основными параметрами которого являются составляющие тензора напряжений, деформации и температура.

В работе [6] подробнее, чем ранее, излагаются представления о природе разрушения части породного массива, примыкающего к выработкам. Кратко их сущность в том, что состояние трёхосного сжатия является естественным для осадочного массива, который в таком состоянии и образовался. Проведение любых выработок – полостей создаёт для его части условия для деформаций упругого восстановления, упругого последствия и обратной ползучести. Этим термином обозначают последствие, вызванное обязательной разгрузкой тела, когда часть деформаций с течением времени восстанавливается (релаксация напряжений).

С целью экспериментального изучения особенностей изменения геомеханических свойств образцов горных пород в первые часы после разгрузки были проведены исследования их деформируемости во времени.

При проведении исследований использовали образцы, изготовленные из гипса, размерами 55x55x55 мм. Всего было изготовлено 10 образцов. Для 7 образцов определили предел прочности на сжатие. По результатам испытаний  $\sigma_{сж}=41,2$  МПа. Затем оставшиеся 3 образца загрузили по схеме Кармана на установке ДонФТИ. Экспериментальные образцы до загрузки в течении 500 часов находились в состоянии трёхосного неравнокомпонентного сжатия, сопровождавшегося деформациями ползучести. После разгрузки, образцы поместили на стенд и с помощью прибора УКБ-1М, методом прямого прозвучивания, определяли время прохождения звукового сигнала при частоте ультразвука соответствующей 25 кГц. Отсчеты проводились в течении 400 часов. Обработка экспериментальных данных осуществлялась по методике [8]. По результатам обработки экспериментальных данных были построены графики изменения скорости прохождения ультразвуковых волн через исследуемые образцы во времени (рис. 1).

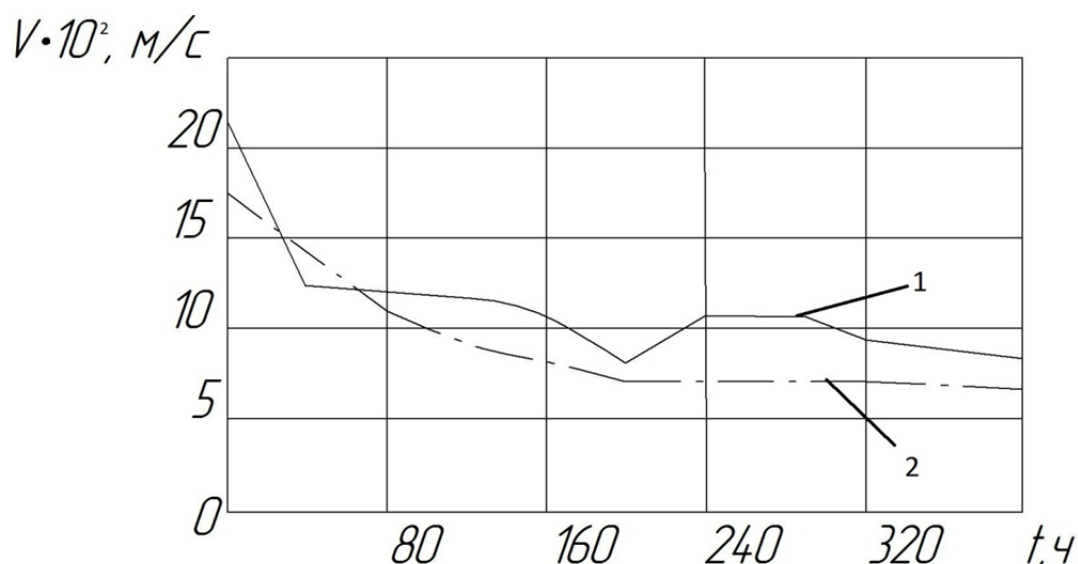


Рис. 1 – Изменение скорости прохождения ультразвуковых волн в образце 1 и образце 2.

Установлено, что в первые 40-80 часов после разгрузки, происходят особенно резкие изменения в структуре исследуемых образцов, что находит отражение в уменьшении скорости прохождения ультразвуковых волн частой 25 кГц. Дальнейшее уменьшение скорости прохождения ультразвуковых волн через исследуемые образцы свидетельствует об интенсивности протекания процесса разгрузки во времени и подтверждает наличие своеобразного эффекта «разрыхления» образцов.

Аналогичные эксперименты были проведены на образцах песчанистого сланца шахты им. А.И. Гаевого (глубина 975 м.) и глинистого сланца шахты им. А.А. Скочинского (глубина 1026 м.)

Результаты представлены на рис. 2.

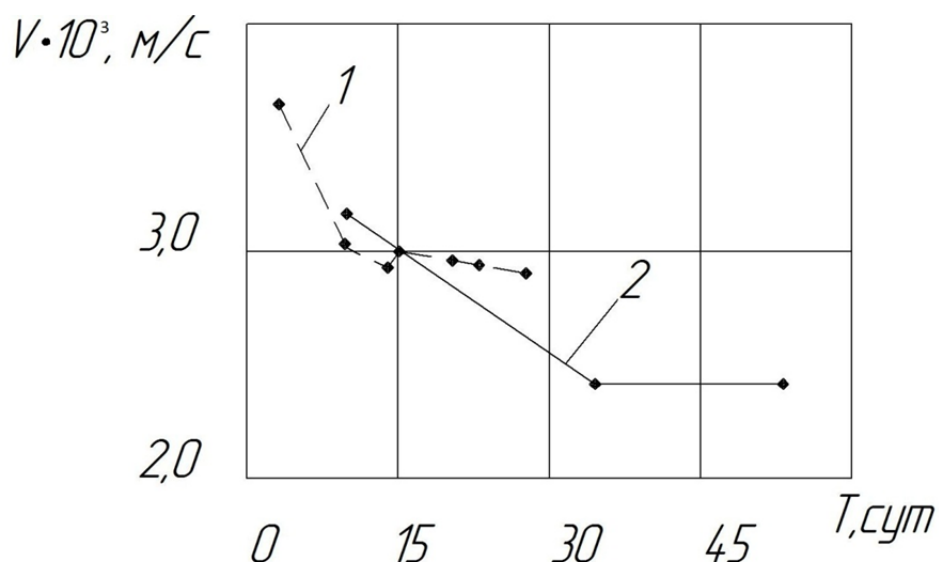


Рис.2 – Изменение скорости прохождения ультразвуковых волн в песчаном сланце (1) и глинистом сланце (2)

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 проведённые эксперименты на образцах глинистого сланца шахты им. А.А. Скочинского [9] в которых зарегистрирована такая же закономерность.

С позиций решаемых задач это явление может рассматриваться как своеобразное доказательство неупругого неразрывного деформирования или «структурной перестройки», приводящей к увеличению объёма и снижению неоднородности плотности и упругих деформационных свойств исследуемых образцов.

Для изучения изменения геомеханических свойств осадочных пород в ДонНТУ были выполнены продолжительные эксперименты на образцах песчанистого сланца шахты им. А.И. Гаевого (глубина 975 м.), глинистого сланца шахты, «Углегорская» (глубина 820 м.) и шахты им. Карла Маркса, (глубина 1000 м.). Образцы в шахте отбирали за пределами разгружающего влияния горных работ. С помощью колонкового бурения были пробурены

скважины длиной 5 м, и диаметром 59мм, на шахте им. А.И. Гаевого, длиной 9 м, и диаметром 42 мм, на шахте «Углегорская», длиной 5,2 м, и диаметром 46 мм, на шахте им. Карла Маркса.

В основу исследований было положено явление возникающее при передвижении смачивающей жидкости по капиллярам различных размеров (диаметров) [10].

Эксперименты проводили по следующей методике. Из отобранных кернов выбрали 56 проб образцов. Пробы разделяли в лаборатории по группам (7-8 образцов в каждой группе) и содержали их там в течении 900 суток при нормальном атмосферном давлении и комнатной температуре. По каждой группе образцов измеряли уменьшение их массы до стабилизации. Затем в соответствии со стандартной методикой (ГОСТ11014-81) образцы помещали в сушильный шкаф и при  $t=105-110^{\circ}$  С высушивали в течении одного часа. После взвешивания высушенных образцов устанавливали их физически связанную (природную) влажность  $W_{ф.с}$ . Полную или максимальную влагоёмкость ( $W_{п}$ ) определяли после насыщения (в течении 10 суток) экспериментальных образцов водой. Опыты повторяли по остальным группам образцов через 40,150, 225, 260, 300, 350, 400, 420, 500, 560, 600, 700, 800, 820, 840, 900 суток.

Основной смысл экспериментов заключается в оценке динамики уменьшения природной влажности, прироста влажности образцов после высушивания и влияния на названные процессы разгрузки, так и взаимосвязь последних с изменением влажности. Все взвешивания производились на специальных электронных весах (тип ВЛР-200г ГОСТ 24104-80) с точностью до третьего после единицы знака.

При изучении свойств горных пород изменение их влажности рассматривали не только как физическую характеристику, но и как критерий увеличения объема порового пространства и перераспределения соотношения объемов пор размерами больше  $10^{-7}$ м, так и размерами меньше  $10^{-7}$ м,

обладающих принципиально различными свойствами. На рис. 3 показано изменение величин полной влагоёмкости  $W_{\text{п}}$  и физически связанной влажности  $W_{\text{ф.с.}}$  от времени  $T$  для экспериментальных образцов осадочных горных пород. Из полученных результатов видно, что разгрузка осадочных горных пород приводит к изменению структуры порового пространства, характеризующегося возрастанием во времени объемов пор представленных капиллярами диаметром более  $10^{-7}$  м, и при одновременном уменьшении объемов пор диаметром менее  $10^{-7}$  м.

Анализ результатов экспериментов позволил также установить снижение массы образцов на первом временном этапе. Этот процесс сопровождался испарением водных растворов из пор размерами более  $10^{-7}$  м и был зафиксирован в течении 4-10 сут. К процессу испарения, в дальнейшем, добавлялась разгрузка образцов горных пород, что способствовало изменению размеров и структуры порового пространства. Можно предположить, что разгрузка явилась причиной испарения водных растворов из пор тех размеров (меньше  $10^{-7}$  м), из которых прежде испарение было невозможным.

Учитывая физическое своеобразие установленного процесса, можно предположить, что по своей природе испарение обуславливается уменьшением капиллярного давления воды из-за развития процесса разгрузки – увеличения радиусов пор  $r$ . Капиллярное давление  $P_{\text{к}}$  в порах осадочных горных пород рассчитывается по поверхностному натяжению воды и краевому углу смачивания  $\theta=65^{\circ}$ , в соответствии с уравнением Лапласа [11]

$$P_{\text{к}} = \frac{\cos\theta}{r} .$$

Из приведенной формулы видно, что при увеличении диаметра пор с  $10^{-8}$  до  $10^{-7}$  м. снизится и капиллярное давление. Именно его уменьшение и будет характеризовать движение водных растворов от разгруженного массива к выработке.

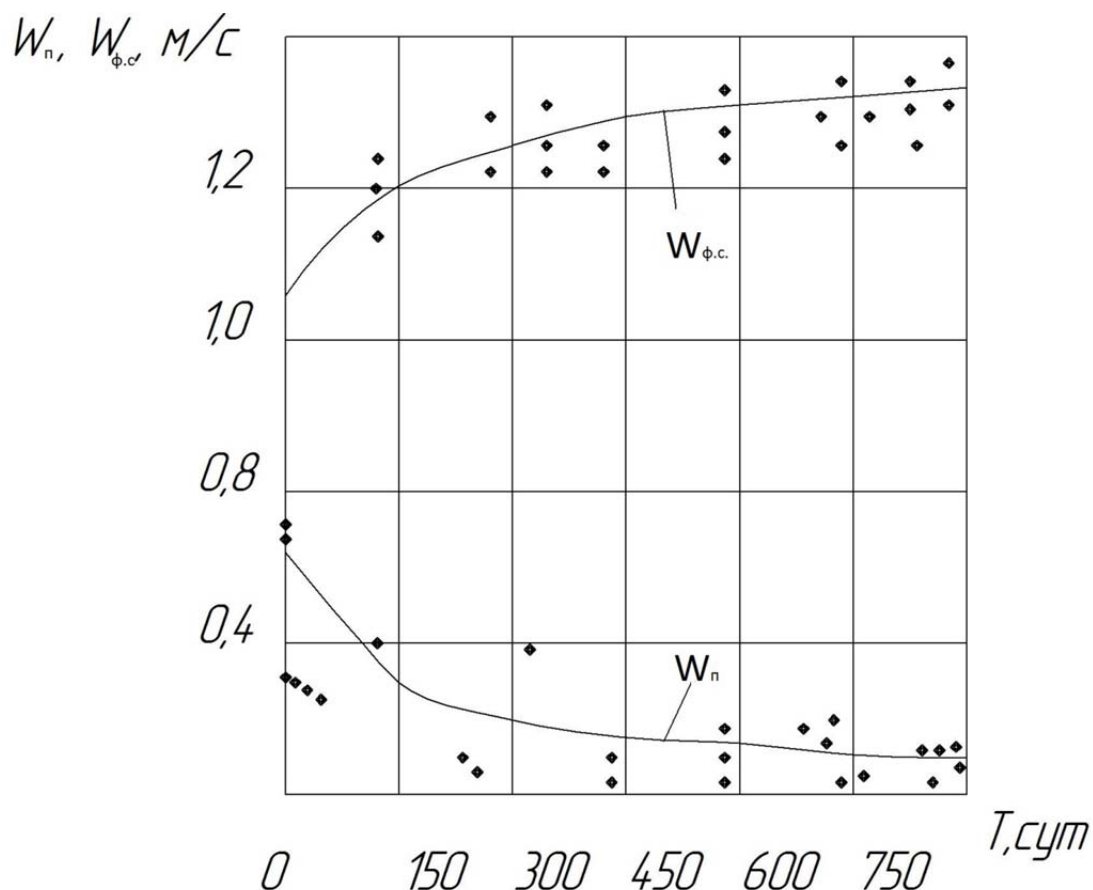


Рис.3 – Зависимости полной влагоёмкости  $W_p$  и физически связанной влажности  $W_{ф.с.}$  от времени  $T$  образцов осадочных горных пород

Таким образом, в результате выполненных исследований было установлено, что реальным является разрушение породного массива не только в результате роста напряжённости, но и при разгрузке горных пород. Совершенно очевидной становится необходимость более глубокого экспериментального изучения природы и особенностей разрушения осадочных пород при разгрузке, в том числе с учётом фактора времени и изменения влажности пород.

Вывод. Установленные зависимости доказывают изменение структуры порового пространства, и перераспределение пор размерами  $>10^{-7}m$  и  $<10^{-7}m$  в исследуемых образцах осадочных горных пород, подтверждая тем самым реальность процесса разгрузки во времени, и ее практическую значимость – склонность углепородного массива к водо – и газоотдаче .



## Список литературы

1. Бриджмен П.В. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. – М.:Изд-во иностранной литературы, 1955. – 440 с.
2. Бузер Г.Д., Хиллер К.Х., Серденгекти Н. Влияние поровой жидкости на деформационное поведение горных пород при трёхосном сжатии // Механика горных пород. – М.:Недра; 1966. – с.372 – 406.
3. Разрушение. Микроскопические и макроскопические основы механики разрушения//Под ред. Г.Любовица. – М.:Мир, - 1973. – т.1 – 616 с.
4. Николин В.И., Балинченко И.И., Симонов А.А. Борьба с выбросами угля и газа в шахтах. – М.: Недра, 1981. – 300 с.
5. Забигайло В.Е., Лукинов В.В., Широков А.В. Выбросоопасность горных пород Донбасса. – Киев : Наукова Думка, 1983.-287 с.
6. Николин В.И., Подкопаев С.В., Малеев Н.В., Агафонов А.В. Снижение травматизма от проявлений горного давления. – Донецк. Норд-Пресс. 2005. – 332с.
7. Ержанов Ж.С. Теория ползучести горных пород и ее приложения. – Алма-Ата: Наука, 1964. – 172 с.
8. Лабораторный практикум по курсу «Физика горных пород и процессов» /И.Ф. Потапкин, А.Г. Томасов, Н.Н. Гавриш и др. – Донецк, ДПИ, 1991 – 43 с.
9. Никлин В.И., Игнатович Н.В., Шепеленко В.А. Особенности проявления горного давления на глубинах 1200 м//Уголь Украины, 1994. - №5. –с. 12-15
10. Харин С.Е. Физическая химия. К.:КГУ, 1961 – 424 с.
11. Миронов Н.П. Механизм движения жидкости в угольном пласте// Нагнетание воды в угольные пласты для повышения безопасности горных работ. – М.:Недра, 1965. – с.65-73