

дра, 1970. - 218 с.

8. Звіт (заключний) колективного гранту виконання ініціативного проекту на тему: «Обґрунтування геотехнологічного імітаційного моделювання системи видобування тонких вугільних пластів технікою нового рівня» за програмою науково-освітнього центру (НОЦ): «Стійкість геотехнічних систем: процеси, явища, ризики» за підтримки Міністерства освіти і науки України, Фонду цивільних досліджень і розвитку США та Національного гірничого університету. Дніпропетровськ, НГУ. 2008. - 116 с.

9. Отчет о НИИ-234 «Определение конфигурации интегрированных систем интенсификации горных работ при разработке угольного пласта». Днепропетровск. РИК НГУ, 2004. - 64 с.

10. Исследование влияния интенсификации добычи угля на технологические параметры /Р.Е. Дичковський, В.П. Расстрига, А.Р. Мамайкин, В.В. Русских, В.Ю.Медяник//друк, Науковий вісник НГУ– 2007. – № 9 –С.19-23.

**УДК 622.831.323.001.57**

М.н.с. Р.А. Дякун  
(ИГТМ НАН Украины)

### **О ПРИЧИНАХ РАДИАЛЬНО-ПОСЛОЙНОГО РАЗРУШЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОГО УГОЛЬНОГО ОБРАЗЦА ПРИ РАЗГРУЗКЕ**

У роботі приведені дані лабораторних досліджень по фізичному моделюванню динамічного характеру руйнування (ДЯ) вугільних зразків при розвантаженні в гранично напруженому стані. Встановлено, що ініціатором ДЯ є процеси дисипацій, які виявляються у вигляді петлі гістерезису. Визначено співвідношення між енергіями дисипації при навантаженні і розвантаженні для різних рівнів навантаження зразків вугілля.

### **THE ABOUT REASONS OF RADIAL-LAYER OF DESTRUCTION MAXIMUM TENSE COAL BREED AT UNLOADING**

The information of laboratory researches is in-process resulted on the physical design of dynamic character of destruction of coal standards at unloading in the maximum tense state. It is set that an initiator are dissipation processes of which show up as a loop of hysteresis. Certainly betweenness by energies of dissipation at loading and unloading for the different levels of loading of coal breed.

Для предотвращения и своевременного прогнозирования динамического разрушения (ДЯ) угольных пластов при ведении очистных и проходческих работ в шахтах необходимо уточнение физического механизма инициирования ДЯ.

В ИГТМ НАН Украины ведутся работы по физическому моделированию ДЯ в угольных пластинах при резком изменении их напряженно – деформированного состояния (НДС), что показано в работах [1-5]. Изменение НДС образцов реализуется методом резкого изменения главного вектора напряжений  $\sigma_1$  (рис. 1) при одноосном сжатии угольных пластин.

При моделировании ДЯ получаем данные режима изменения  $\sigma_1$ . Рассмотрим (Рис.2) изменение НДС образца во времени:  $\sigma_i$ ,  $\sigma_{i+1}$ ,  $\sigma_{i+2}$  с соответствующими значениями времени  $t_i$ ,  $t_{i+1}$ ,  $t_{i+2}$ . Т.е в текущий момент времени  $t_{i+2}$  НДС образца определяется напряжением сжатия  $\sigma_{i+2}$ , а напряжения  $\sigma_i$ ,

$\sigma_{i+1}$  и соответственно  $t_i, t_{i+1}$  являются показателями интенсивности изменения НДС образца предшествующей текущему времени.

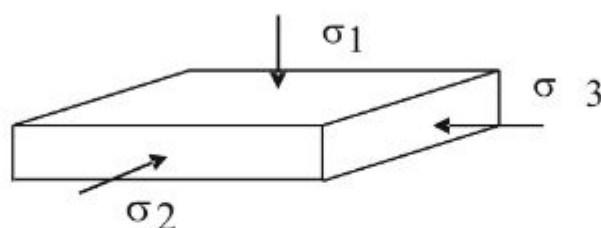


Рис. 1 – Схема нагружения угольных образцов при физическом моделировании ДЯ

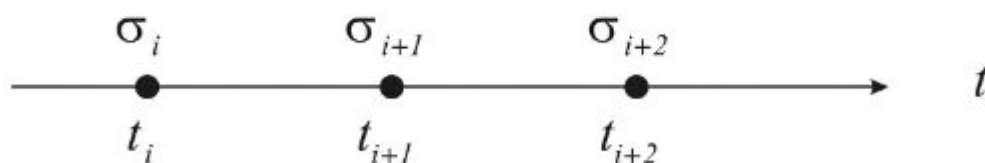


Рис. 2 – Схема к анализу режима воздействия на угольные образцы

В работе [3] предложено рассмотреть изменение минимальных значений критерия  $D_{min}$  (1) при которых происходит инициирование ДЯ в режиме разгрузки при давлениях  $\sigma_1 \approx 100-300$  МПа.

$$D_{min} = \frac{a_{\sigma 1}}{V_{\sigma 1}}, \quad (1)$$

где  $a_{\sigma 1} = (\frac{\sigma_i - \sigma_{i+1}}{\Delta t} - \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_{i+2}}{\Delta t}) / \Delta t$  – ускорение разгрузочных напряжений в интервале времени  $(t_{i+1} - t_{i+2})$ , МПа/с<sup>2</sup>;  $\Delta t = t_i - t_{i+1} = t_{i+1} - t_{i+2}$ , с;  $V_{\sigma 1} = \frac{\sigma_i - \sigma_{i+1}}{\Delta t}$  – скорость разгрузочных напряжений в интервале времени  $(t_i - t_{i+1})$ , МПа/с.

В результате выполнения лабораторных экспериментов по инициированию ДЯ при замеряемом интервале  $\Delta t$  времени равном 0,033с, была получена кусочно-линейная аппроксимация критерия  $D_{min}$ , что графически показано на рис. 3.

В работах [2, 4, 5] показан физический механизм инициирования ДЯ в предельно напряженных угольных образцах при разгрузке. Показано, что для инициирования ДЯ в угольном образце необходимо формирование мнимых частей трещин перпендикулярно его торцам. В области влияния этих трещин и зоны опорного давления происходит образование мелкодисперсной пыли с характерным звуковым эффектом и отбросом мелкодисперсной пыли от вновь сформированной границы (полости) образца. На вновь сформированной границе образца образуются пластины параллельные забою. Схема, пояс-

няющая реализацию механизма радиально-послойного разрушения, представлена на рис.4.

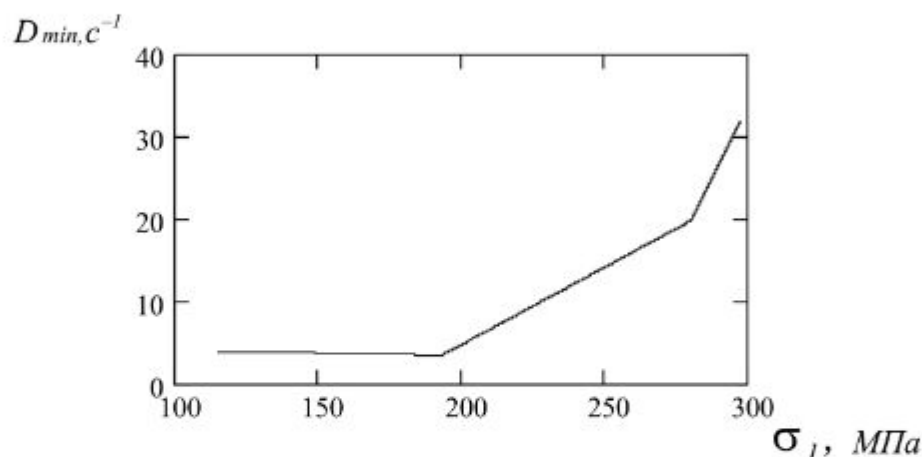


Рис. 3 – Изменение критерия  $D_{min}$  при различных значениях главного вектора  $\sigma_1$  напряжений угольных образцов в момент инициирования ДЯ



Рис. 4 – Механизм радиально-послойного разрушения угольного вещества при разгрузке в предельно напряженном состоянии

Установлено, что для инициирования ДЯ необходимо соотношение временных, пространственных и других параметров предельно напряженного состояния угля и расположенных перпендикулярно торцам образца мнимых частей зарождающихся трещин.

В случае, если ДЯ не реализуется, то внешний вид образца остается таким же, как и при стационарном нагружении в режиме «нагрузка – разгрузка», что показано на рис. 5.

При рассмотрении петли гистерезиса, которая иллюстрирует диссипационные потери в образце при нагружении в режиме «нагрузка – разгрузка» установлено, что если не был иницирован ДЯ, то петля гистерезиса сохраняет свой контур АВС (рис. 6) на диаграмме  $\sigma_1(\varepsilon_1)$ . В случае, если происходит иницирование ДЯ, то площадь петли гистерезиса увеличивается, что околнтурено линией АВКФ. При этом точка К начала отклонения от петли гистере-

зиса является точкой начала инициирования ДЯ. Из этого следует, что инициатором ДЯ является диссипационное рассеяние энергии, проявляющееся на графике  $\sigma_1(\epsilon_1)$  в форме ABC петли гистерезиса (см.рис.6), происходящее при разгрузке образца от сжимающих напряжений, что также частично подтверждается в работе [6]. Поэтому, зная предельные режимы воздействия разгрузкой для инициирования ДЯ (см. рис.3 и (1)) при различном НДС, можно определять соответствующие интервалы  $\Delta\sigma_1$  изменения НДС для различных уровней нагружения образцов и энергию, соответствующую этим интервалам в петле гистерезиса. На рис.6 эти энергии инициирования ДЯ выделены штриховкой для различного уровня НДС.

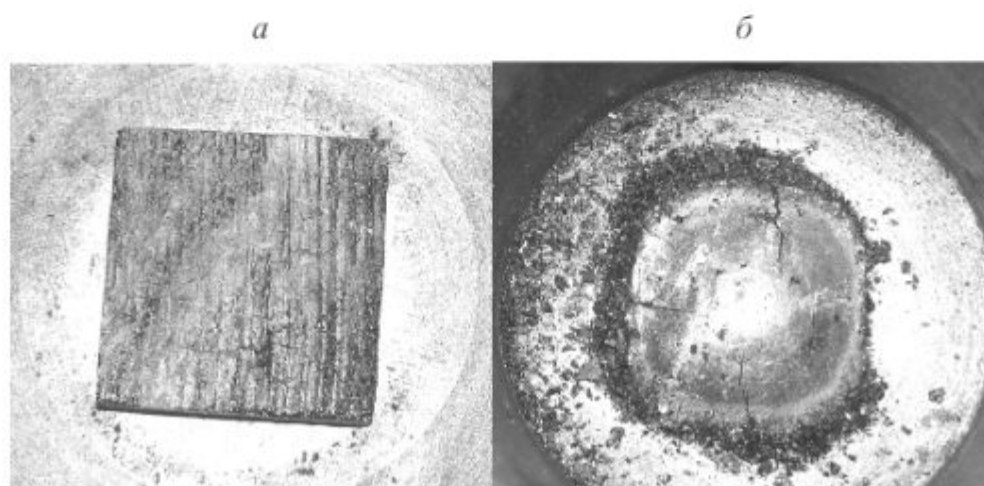


Рис. 5 – Внешний вид образца перед (а) и после (б) воздействия цикла нагрузка – разгрузка без инициирования ДЯ

С учетом критерия (1) и графика представленного на рис.3 получены данные, показанные на рис. 7, о изменении минимальной удельной  $N_{\text{д}}$  мощности диссипации (без учета потерь на диссипацию при нагружении) при которой происходит иницирование ДЯ во время разгрузки предельно напряженного образца для различных скоростей разгрузки (скорость разгрузки относится к интервалу времени  $(t_i - t_{i+1})$ , см. рис. 2).

Диссипация энергии проявляющаяся в виде петли гистерезиса относится к процессам изменения структуры угольного вещества как при нагрузке, так и при разгрузке. Следовательно данные, представленные на рис. 7 являются не точными, т.к. критерий (1) относится к иницированию ДЯ при разгрузке образца от действующих напряжений. Для того, чтобы количественно определить диссипацию, происходящую при разгрузке образца был сделан следующий эксперимент. Известно, что до 90 % газа находящегося в неразгруженном от механического давления угольном веществе находится в связанном состоянии. Поэтому насыщение образцов угля газом и воздействие циклом «нагрузка – разгрузка» приведет к тому, что при возникновении диссипации в угольном веществе будет проявляться в виде изменения газовыделения из образца.

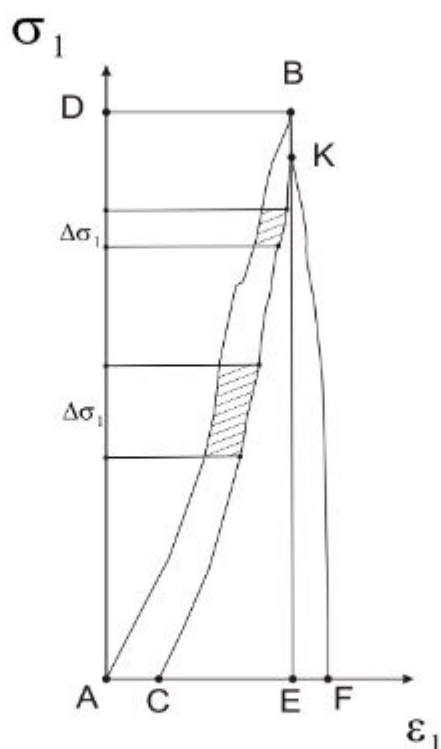


Рис. 6 – Диаграмма напряжение – деформация для угольных образцов при инициировании (контур ABKF) и без инициирования (контур ABC) ДЯ

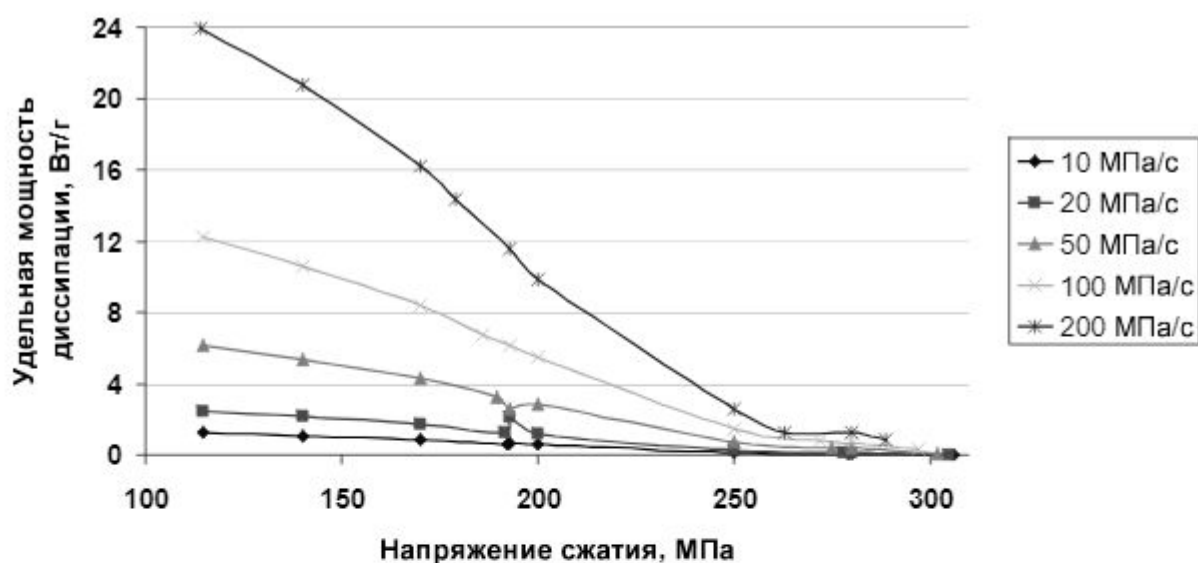
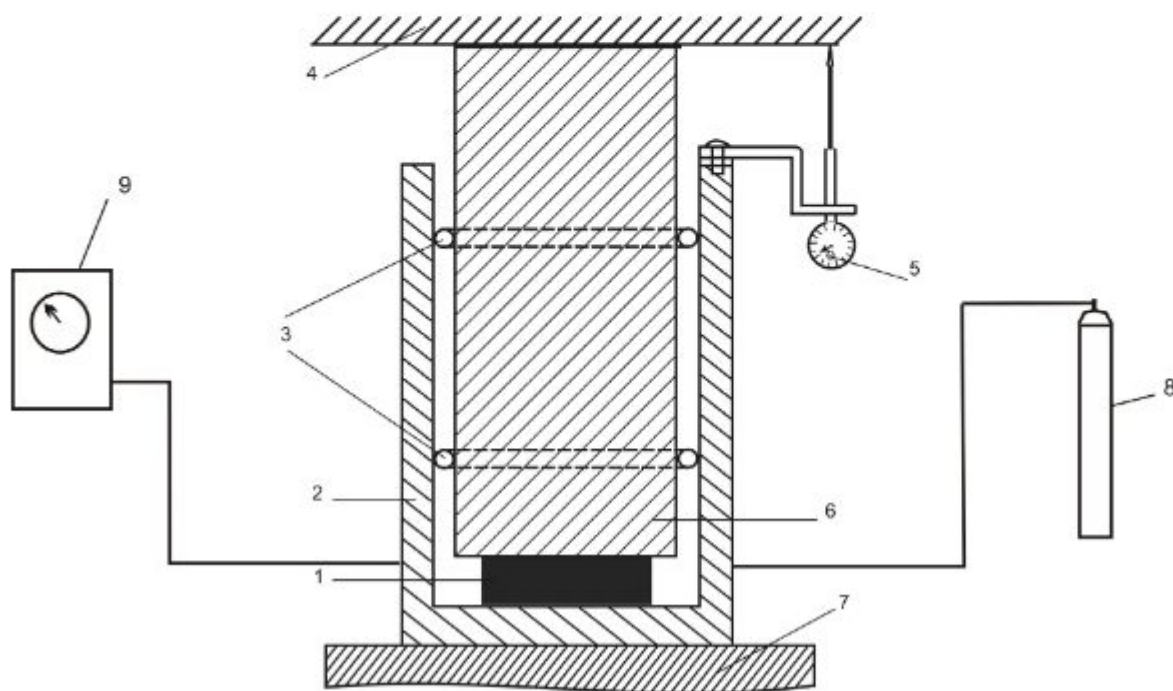


Рис. 7 – Изменение удельной мощности диссипации которая проявляется в виде соответствующего участка петли гистерезиса

Для проведения эксперимента по изменению дебита газовыделения из образца угля при разгрузке было проделано следующее. В стенд (рис. 8) поместили образец угля и насытили техническим азотом под давлением 10 МПа в течении 120 минут. После этого образец подвергали одноосному сжатию до 60 МПа и снизили давление азота до атмосферного. В результате этого об-

разец автоматически за счет особенностей конструкции стенда (см.рис1) нагружался до напряжения сжатия 100 МПа. Производили нагружение образца до напряжения 278 МПа, выдерживали до стабилизации газовыделения. Затем уменьшили нагрузку на образец со средней скоростью 2,3 МПа/с. Характер изменения скорости газовыделения в результате нагружения образца в режиме «нагрузка-разгрузка» показан на рис. 9.



1 – угольный образец, 2 – камера стенда, 3 – резиновые сальники, 4 – верхняя плита прессы, 5 – индикатор механический часового типа; 6 – цилиндр; 7 – нижняя плита прессы; 8 – баллон с техническим азотом; 9 – расходомер газа типа ПГ-2М

Рис. 8 – Схема стенда для сжатия газонасыщенных образцов угля на гидравлическом прессе типа П-50

Другой идентичный образец был газонасыщен в том же режиме как и первый, но давление технического азота снизили до атмосферного при давлении сжатия образца 278 МПа и начали измерение газовой выделении в режиме «разгрузка – нагрузка» (см.рис. 9). Это было сделано для того, чтобы при усреднении значений дебита газа при разгрузке и нагрузке в циклах «нагрузка – разгрузка» и наоборот ликвидировалось влияние времени, т.к. во время воздействия на образец изменяющимся НДС происходит изменение дебита не только за счет диссипационных потерь в угле, но и за счет естественной дегазации образцов.

Результат усреднения соответствующих дебитов газовой выделении при различных циклах нагружения получен график изменения газовой выделении при нагрузке и разгрузке, что показано на рис. 10.

Из графика следует, что как при нагрузке так и при разгрузке происходит снижение дебита газовой выделении. Зная уровни газовой выделении для различного

значения НДС образца можно определить в процентное соотношение степени участия в общих диссипационных потерях (петля гистерезиса) диссипацию происходящую как при нагрузке так и при разгрузке. На рис. 11 представлен график, показывающий процентное изменение диссипационных потерь происходящих при разгрузке образца по отношению к общей энергии диссипации, которая проявляется в виде петли гистерезиса.

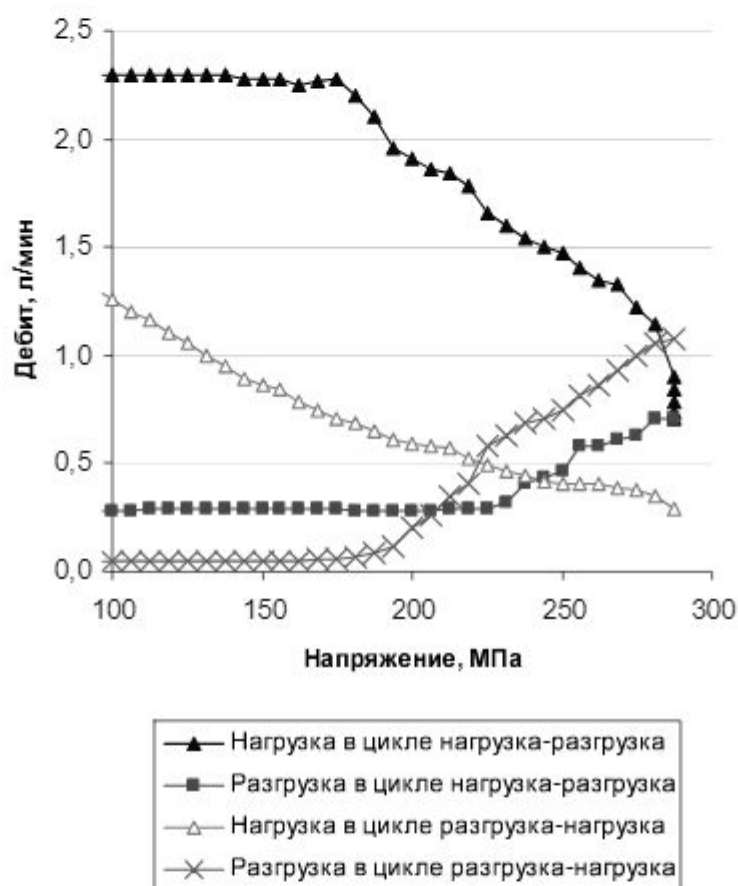


Рис. 9 – Изменение дебита газовой выделения от напряжений сжатия угольного образца

После этого внеся поправку в значения удельной мощности диссипации (см.рис. 7) с учетом данных представленных на рис. 10, получаем истинный характер изменения  $N_v$  при разгрузке для различного НДС образца, в результате чего происходит инициирование ДЯ по радиально-послойному механизму разрушения предельно напряженных угольных образцов, что представлено на рис. 12.

Выводы:

Показано, что основной причиной инициирования динамического характера разрушения предельно напряженных угольных образцов при разгрузке является диссипационные процессы, которые на графике  $\sigma_1(\epsilon_1)$  проявляются в виде петли гистерезиса, т.е изменение структуры угля на микроуровне.

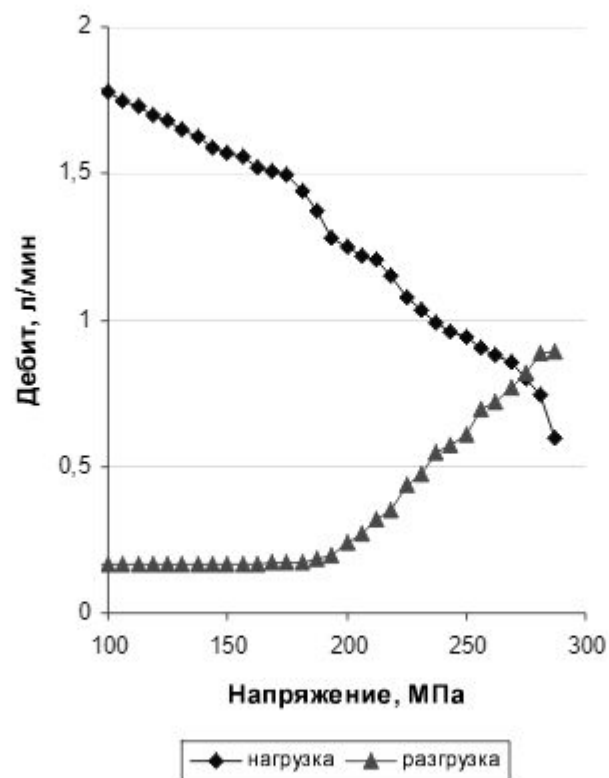


Рис. 10 – Изменение усредненного дебита газовыделения от напряжений сжатия угольного образца

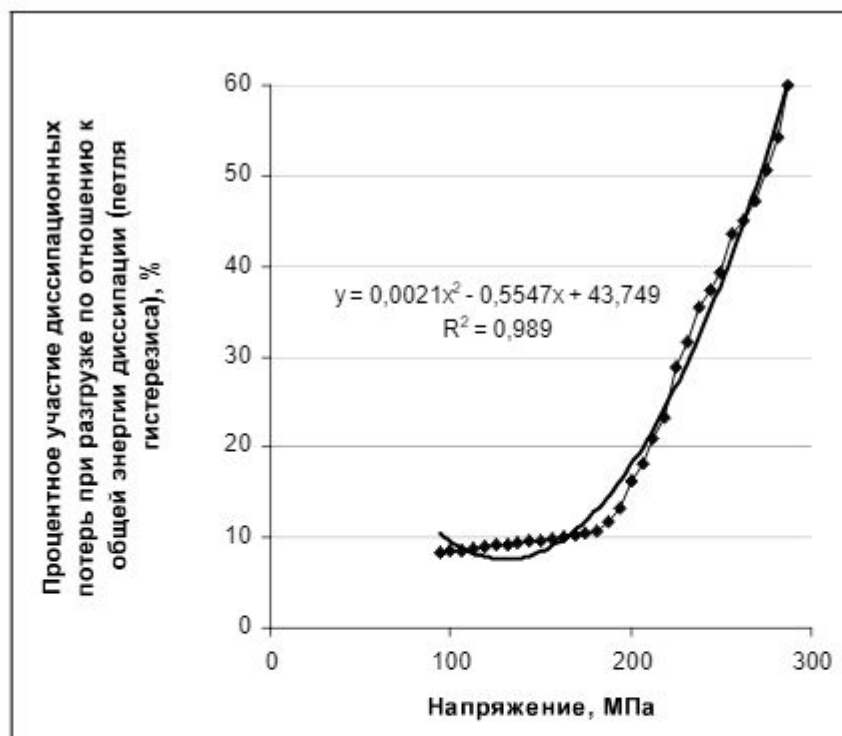


Рис. 11 – Процентное изменение степени участия диссипационных потерь при разгрузке в общих диссипационных потерях, которые проявляются в петле гистерезиса, для различных напряжений сжатия образца угля

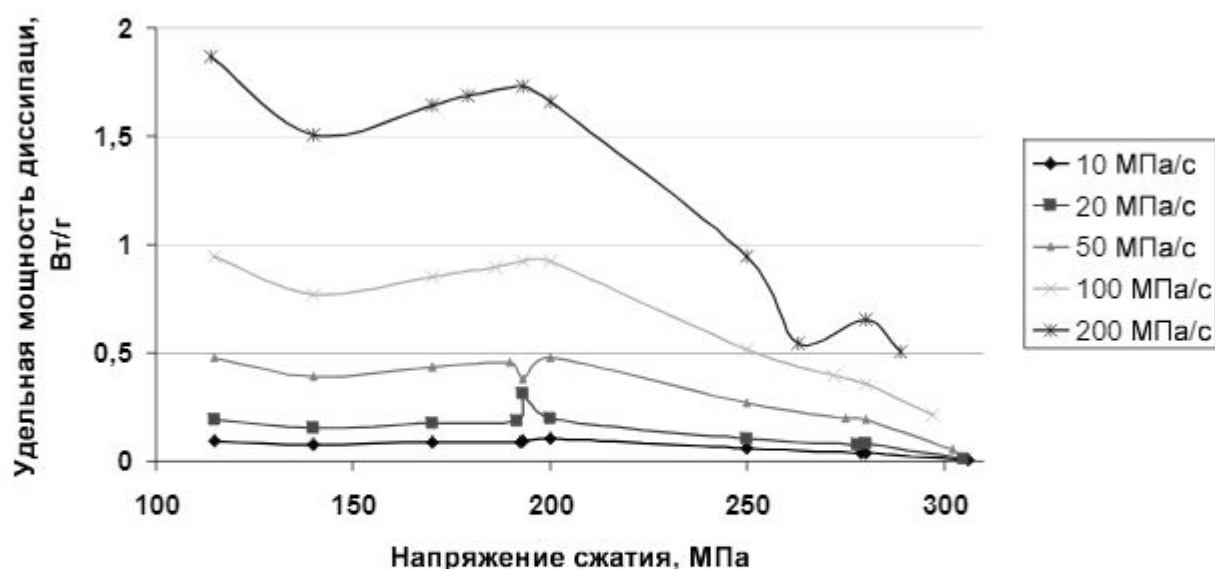


Рис. 12 – Изменение удельной мощности диссипации от уровня механических напряжений во время разгрузки, при которой происходит инициирование динамического характера разрушения по радиально-послойному механизму в предельно напряженных угольных образцах для пласта  $m_3$ , АП «Шахта им. А.Ф. Засядько»

Определена удельная мощность диссипации при разгрузке для различных напряжений, в результате реализации которой происходит инициирование динамического характера разрушения по радиально-послойному механизму.

Экспериментально определено изменение степени участия диссипационных потерь при разгрузке в общих диссипационных потерях, которые проявляются в петле гистерезиса, для различных напряжений сжатия образца угля

Двумя различными методами установлено, что физико-механические свойства предельно напряженного угольного образца для угля пласта  $m_3$ , АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» резко изменяются на уровне напряжений сжатия 190 МПа. На уровне напряжений 190 МПа и более склонность угля к динамическому разрушению при разгрузке увеличивается.

Для достижения высоких скоростей отработки необходимо или менять физико-механические свойства обрабатываемого пласта, что очень дорого, либо внедрять автоматизированные системы геомониторинга и в случае необходимости, способные активно управлять горным давлением малоэнергоемкими воздействиями концептуально представленные в работе [7]. Это наиболее целесообразно из-за того, что при высоких давлениях инициирование динамического характера разрушения осуществляется за счет малой удельной мощности диссипации. Оработка угольных пластов на глубинах более 1000 м требует изменения традиционных технологий ведения горных работ и создания автоматизированных систем активного управления горным давлением.

Данная работа выполнена на средства гранта Президента Украины для одаренной молодежи.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дякун Р.А. Результаты исследований поведения угольных образцов при высоких давлениях / Геотехнічна механіка: Між від. збір. наук. праць, Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 62. – С. 73-84.
2. Кияшко Ю.И., Дякун Р.А. Установление минимальной скорости разгрузки напряженного образца угля при которой происходит его быстрое разрушение до уровня мелкодисперсной пыли / Геотехнічна механіка: Між від. збір. наук. праць, Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 65. – С. 61-66.
3. Дякун Р.А. Особенности разрушения угольного вещества при разгрузке в предельно напряженном состоянии / Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2007». – Д.: Національний гірничий університет 2007. – С.75-80.
4. Кияшко Ю.И., Дякун Р.А., Закономерности разрушения угольного вещества за традиционно определяемыми пределами прочности / Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках / Матер. XVIII Межд. Науч. Школы. – Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2007. – С.134-136.
5. Дякун Р.А., Кияшко Ю.И. Механизм радиально-послойного разрушения угля в предельно-напряженном состоянии при разгрузке / Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках / Матер. XVIII Межд. Науч. Школы. – Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2008. – С.85-87.
6. Зорин А.Н. Управление динамическими проявлениями горного давления. М., «Недра», 1978, 175с.
7. Булат А.Ф., Курносоев А.Т., Русанцов Ю.А. Управление состоянием предельно напряженного породного массива мало-энергоёмкими воздействиями. – Киев: «Наукова думка», 1993, 176с.

УДК 622.831.322:532.528

Инж. А.А. Ангеловский, инж. И.Ф. Чугунков  
(ОАО "Краснодонуголь"),  
канд. техн. наук. В.В. Зберовский,  
вед. инж. Р.Н. Наривский  
(ИГТМ НАН Украины)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОНАПОРНОГО НАГНЕТЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ВЫБРОСООПАСНЫЕ УГОЛЬНЫЕ ПЛАСТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Наведено результати досліджень параметрів високонапірного нагнітання рідини при проведенні робіт по гидророзпушуванню і гидроїмпульсній дії на викидонебезпечний вугільний пласт  $i_3^1$  гор. 915 м ш/у "Суходільське-Східне" ВАТ "Краснодонувугілля".

## RESEARCH OF PARAMETERS OF HIGH-PRESSURE FESTERING OF FLUID IN VYBROSOOPASNYE COAL-SEAM DURING CONDUCTING OF THE PREPARATORY MAKING

The results of researches of parameters of the high-pressure festering of liquid during conducting of works on hydrotillage and hydroimpulsive influence on the dangerous outburst of coal layer of  $i_3^1$  level 915 m mine administration "Sukhodolskoye-Vostochnoye" Krasnodoncoal Plc.

Применяемые в настоящее время на практике способы гидрорыхления и гидроотжима краевой части выбросоопасных пластов имеют ряд недостатков. Учитывая, что оборудование и технология их применения практически одинаковы, различны параметры шпуров или скважин и достигаемый эффект, основным недостатком можно считается неуправляемый процесс трещинообразования и разрушения угольных слоев и пропластков. В результате при на-