

УДК 622.02: 539.375

И.Г. САХНО (канд. техн. наук, доц.)

Донецкий национальный технический университет, Донецк

А.В. МОЛОДЕЦКИЙ (канд. техн. наук, доц.)

Институт физики горных процессов НАНУ, Донецк

ДЕФОРМИРОВАНИЕ И РАЗРУШЕНИЕ НЕВЗРЫВЧАТОЙ САМОРАСШИРЯЮЩЕЙСЯ СМЕСИ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ ПРИ ОБЪЕМНОМ НАГРУЖЕНИИ

В статье приведены результаты лабораторных испытаний затвердевшего в условиях ограниченных перемещений образца невзрывчатой разрушающей смеси (НРС) в поле напряжений близком к формируемому вблизи разгрузочной скважины в предложенном способе охраны выработок. Экспериментально на (УНТС) определены предельные напряжения и физико-механические свойства НРС в твердой фазе в условиях обобщенного сжатия. Это позволило подтвердить возможность применения разработанного способа в условиях глубин до 1200м.

Ключевые слова: невзрывчатая разрушающая смесь, саморасширение, гидратация, напряжение, деформация.

Одним из условий эффективной и безопасной работы угольных шахт является обеспечение эксплуатационного состояния горных выработок, устойчивость которых определяется напряженно-деформированным состоянием окружающего породного массива. Известно, что наибольшие смещения наблюдаются в выработках попадающих в зону влияния очистных работ. При этом максимальное влияние горного давления характерно для участков выработок поддерживаемых за лавой [1, 2]. Большинство известных способов поддержания, технологические и технические решения, основанные на повышении металлоемкости 1 м выработки, исчерпали свои возможности в части обеспечения устойчивости выработок.

По мнению авторов, значительный резерв повышения устойчивости выработок поддерживаемых за лавой заключается в принудительном изменении распределения напряжений возникающих в массиве после выемки угля лавой. В этот момент породы кровли, лишившись опоры на пласт, начинают послойно прогибаться в выработанном пространстве и последовательно обрушаться в направлении снизу вверх. При этом длина зависающих консолей основной кровли со стороны выработанного пространства определяет НДС пород вокруг подготовительной выработки и формирует нагрузку на крепь [3].

Для снижения нагрузки на охранный сооружение и крепь подготовительной выработки, предотвращения их деформирования и разрушения предлагается принудительно обрушить зависающую со стороны выработанного пространства породную консоль над охранным сооружением, что позволит повысить устойчивость охраняемой горной выработки. При этом минимизация энергозатрат на принудительное обрушение консоли может быть достигнута за счет инициации разрушения в зоне естественных растягивающих напряжений выше нейтральной оси зависающего слоя пород основной кровли.

Технически предлагаемая идея может быть реализована, например, в способе охраны подготовительных выработок [4] (рис. 1), который включает возведение охранный сооружения вслед за лавой, бурение скважин из подготовительной выработки, таким образом, чтобы ось скважины проходила через точку, образованную пересечением нейтральной оси зависающего слоя основной кровли и нормали

к напластованию проведенной из центра масс охранного сооружения, а длину скважины определяют из соотношения

$$l_{скк} = \left(h_{нк} + \frac{h_{ок}}{2} \right) / \sin \alpha + \frac{h_{ок}}{2} / \sin \alpha$$

где $h_{нк}$ - мощность пород непосредственной кровли пересекаемой скважиной, м;

$h_{ок}$ - мощность пород основной кровли, м;

α - угол наклона скважины к плоскости пласта, град;

при этом донную часть скважины заполняют невзрывчатым разрушающим составом (НРС) на величину

$$l_{\delta} = l_{скк} - \left(h_{нк} + \frac{h_{ок}}{2} \right) / \sin \alpha$$

а устьевую ее часть герметизируют.

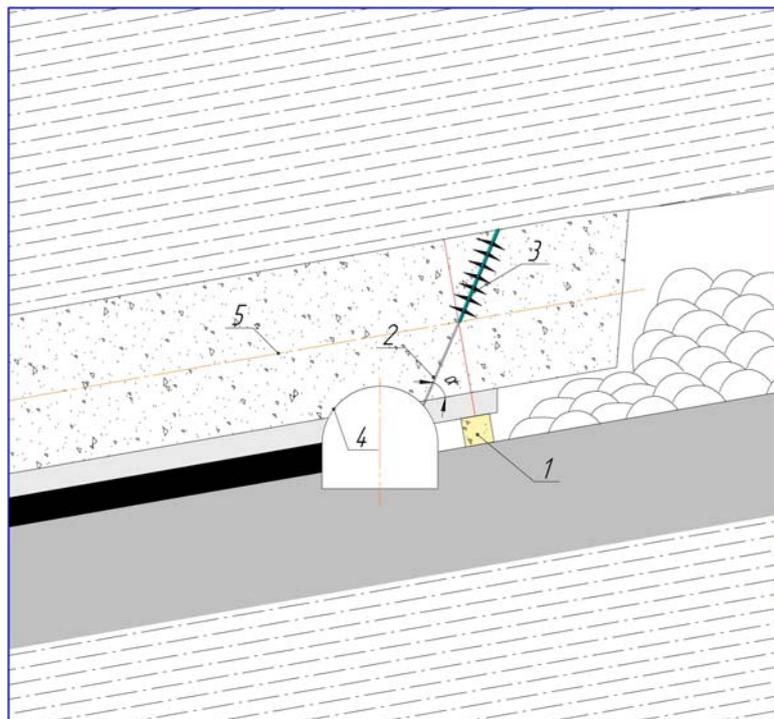


Рис. 1. Способ охраны подготовительных выработок пройденных по пласту
1 – охранный сооружение, 2 – разгрузочная скважина, 3 – заряд НРС,
4 – подготовительная выработка, 5 – основная кровля, 6 – непосредственная кровля

Разрушение зависающих со стороны выработанного пространства пород с помощью НРС не вызывает значительного повышения температуры, динамического воздействия на породы и может применяться в условиях пластов высокой газоносности и выбросопасности.

По данным [5] давления, развиваемые НРС в процессе гидратации, достигают 80 МПа, что вполне достаточно для инициации роста трещины в условиях формирования естественных растягивающих напряжений выше нейтральной оси консоли основной кровли в результате ее изгиба. Однако условия, вызывающие изгиб основной кровли, формируются не мгновенно после выемки пласта, а по мере перехода пород в зону обрушения непосредственной кровли за посадочным рядом крепи и потери опоры основной кровлей. Таким образом, до момента формирова-

ния естественных условий для обрушений основной кровли заряд НРС находится в условиях близких к обобщенному сжатию. При этом соотношение компонент напряжений в массиве вокруг скважины изменяется во времени по мере роста опорного давления. Давление саморасширения обеспечивается прорастанием кристаллов гидроксида кальция, поэтому в случае разрушения затвердевшего НРС он теряет свои свойства и не оказывает давления на стенки скважины. Поэтому для обеспечения эффективности предложенного выше способа охраны подготовительных выработок важно чтобы затвердевший в скважине НРС не разрушался под действием напряжений в массиве.

Промоделируем условия нахождения заряда НРС в скважине. Учитывая современные глубины отработки пластов угля в Донбассе, и тенденции роста глубины разрабатываемых пластов при испытаниях будем моделировать напряженное состояние, соответствующее глубине 1200 м, которая является рабочей на ближайшую перспективу (20-25 лет).

Испытание образцов НРС в объемном поле напряжений проводили на установке неравнокомпонентного трехосного сжатия (УНТС) после их твердения в условиях ограничения перемещений по всем осям, в возрасте 24 часа. Исследования на УНТС [6-7], позволяют определять физико-механические свойства твердых тел в различных видах объемных напряженных состояний и контролировать процесс деформирования и разрушения. Моделировалось напряженное состояние обобщенное сжатие $\mu_\sigma = -1$:

где μ_σ параметр Надаи-Лоде

$$\mu_\sigma = 2 \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \right) - 1$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - главные напряжения.

Данная программа нагружения была реализована следующим образом. Помещенный в рабочую камеру образец равномерно нагружался по трем осям до заданного уровня, контролируемого по показаниям манометров. Главные напряжения принимали $\sigma_2 = \sigma_3 = \text{const}$. Главное преобладающее напряжение σ_1 увеличивали до тех пор, пока образец не разрушится (рис. 1).

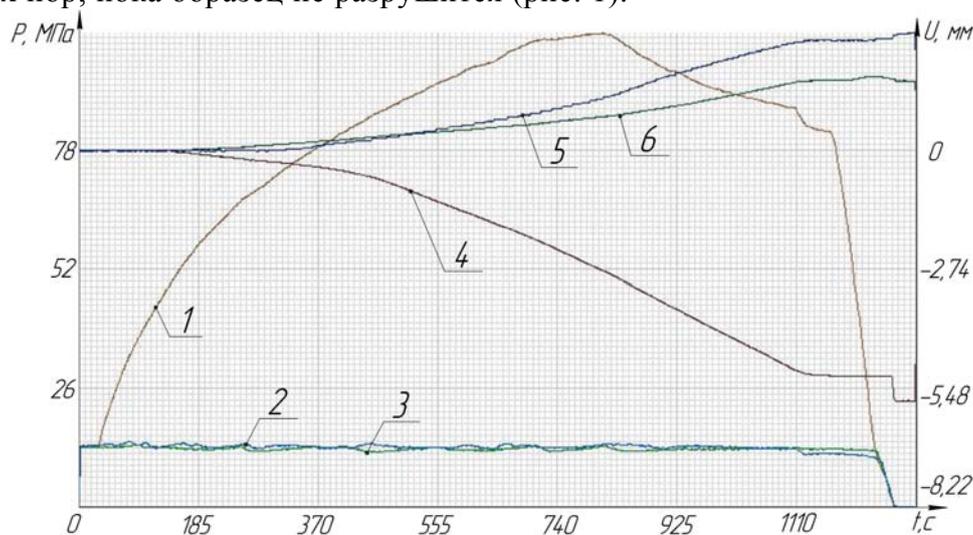


Рис. 1. Разрушение образца НРС в объемном неравнокомпонентном поле напряжений на УНТС
1, 2, 3 – напряжения по осям z (σ_1), y (σ_2), x (σ_3) соответственно;
4, 5, 6 – деформации по осям z, y, x соответственно

Физически это соответствовало работе заряда НРС в массиве в скважине в зоне нарастающего опорного давления от движущегося очистного забоя. Смещение граней образца фиксировалось электронной измерительной аппаратурой с точностью 0,01 мм. Разрушение образца фиксировалось по спаду наибольшего напряжения и появлению деформаций растяжения. Частота измерений – 2 в секунду. Общий вид образца после разрушения приведен на рисунке 2.



Рис. 2. Образец НРС после разрушения в объемном неравнокомпонентном поле напряжений

Для анализа полученных экспериментальных данных, определения физико-механических свойств НРС рассчитывались тензоры напряжений и деформаций, объемная деформация, средние напряжения, средние деформации, девиаторы напряжений и деформаций, модуль деформации, коэффициент поперечной деформации (Пуассона), энергия изменения объема и энергия формоизменения.

Результаты приведены в виде графиков на рис. 3-8. Из графиков видно, что предельные средние напряжения составляют 46,5 МПа, что соответствует тензору напряжения $z = 108$ МПа, $x=y=15$ МПа. Объемные деформации при этом составляют 0,015, коэффициент поперечной деформации 0,46, полная энергия деформирования 2,11 МДж/м³. При средних напряжениях 40 МПа наблюдается изменение угла наклона кривой «нагрузка-деформация» (рис. 3), что вероятно означает переход из упругой стадии деформирования в пластическую. Далее можно выделить площадку текучести, после чего наблюдается разрушение образца, сопровождающееся падением напряжений и ростом деформаций. Модуль деформации НРС не является константой и изменяется до предела прочности от 57 ГПа до 1 ГПа, в пределах упругости составляет 4 ГПа, это состояние соответствует тензору напряжения $z = 84$ МПа, $x=y=15$ МПа. При этом объемные деформации составляют 0,0007, коэффициент поперечной деформации достигает максимума и составляет 0,491, полная энергия деформирования 0,33 МДж/м³.

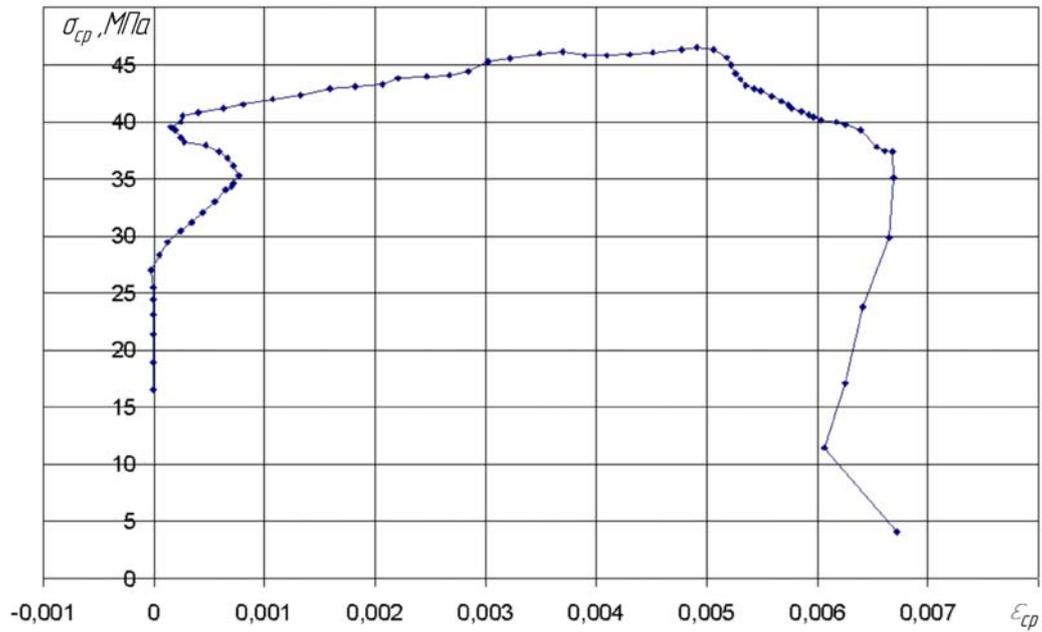


Рис. 3. Зависимость сжимающего среднего напряжения образца НРС от средних деформации

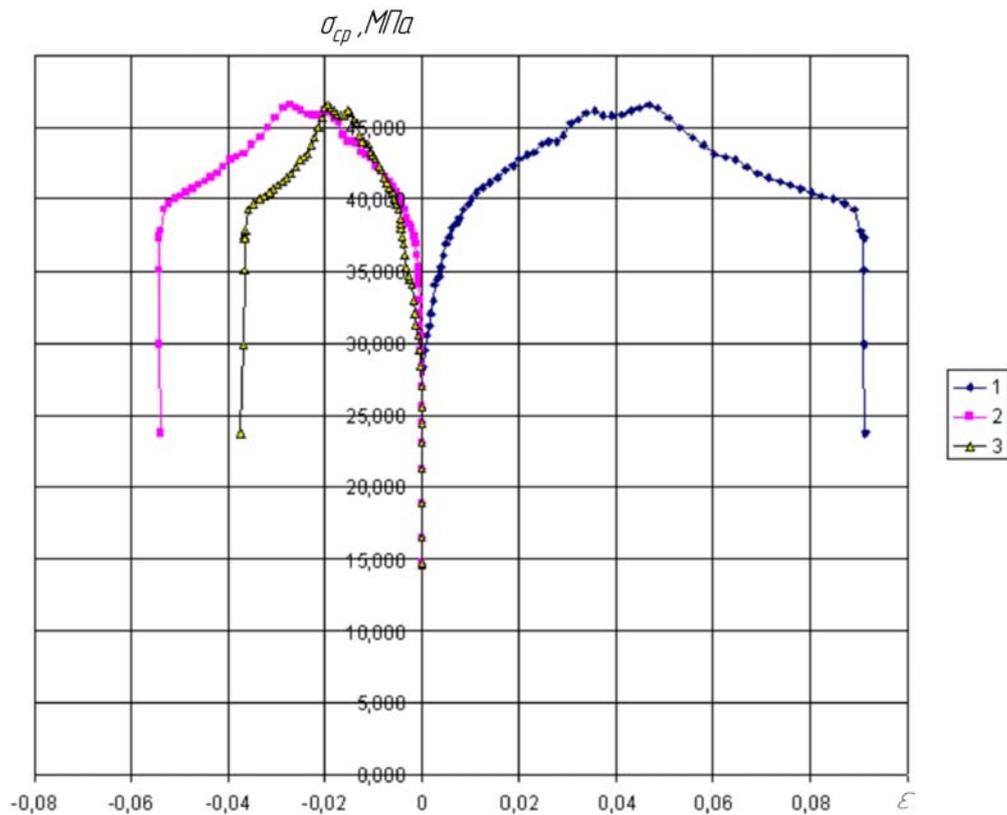


Рис. 4. Зависимость среднего напряжения образца НРС от девиатора деформаций
1 – девиатор деформации ϵ_z ; 2 – девиатор деформации ϵ_x ; 3 – девиатор деформации ϵ_y .

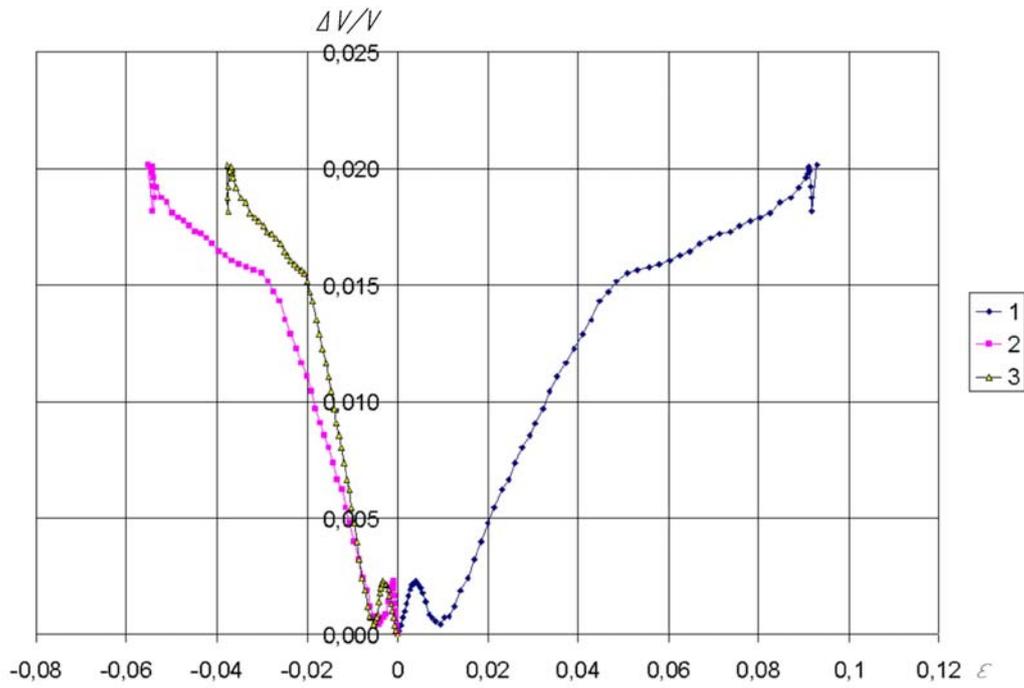


Рис. 5. Зависимость объемной деформации образца от девиатора деформаций
1 – девиатор деформации ϵ_z ; 2 – девиатор деформации ϵ_x ; 3 – девиатор деформации ϵ_y .

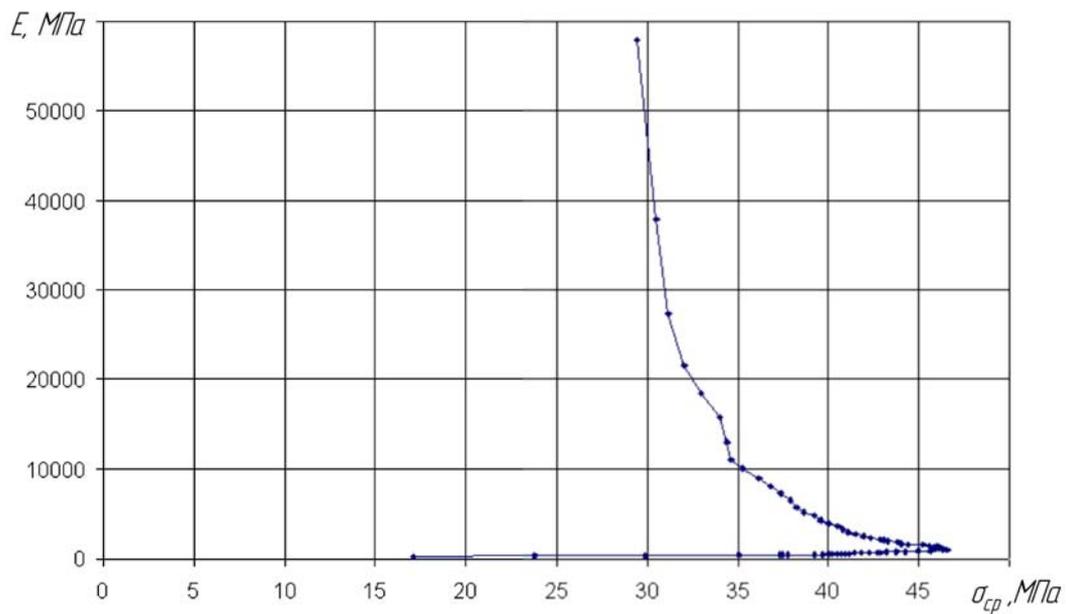


Рис. 6. Зависимость модуля деформации образца НРС от средних напряжений

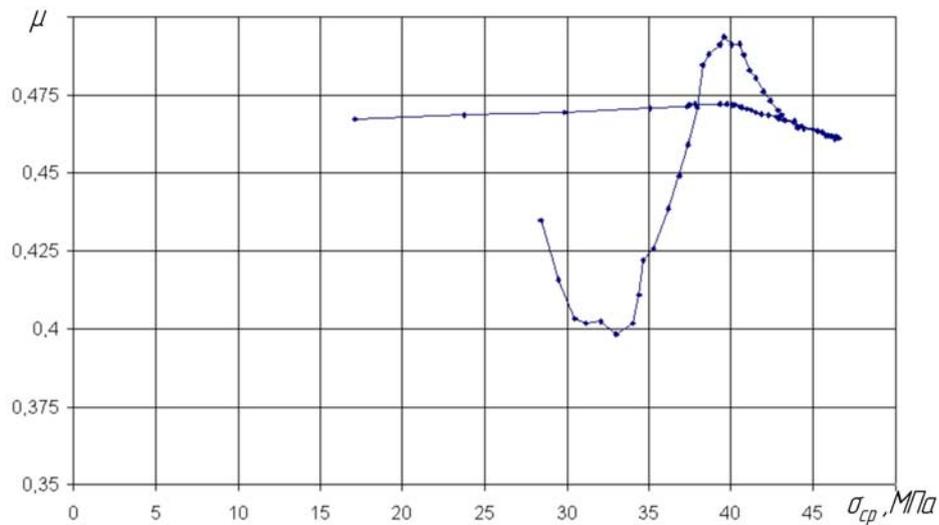


Рис. 7. Зависимость коэффициента поперечной деформации образца НРС от средних напряжений

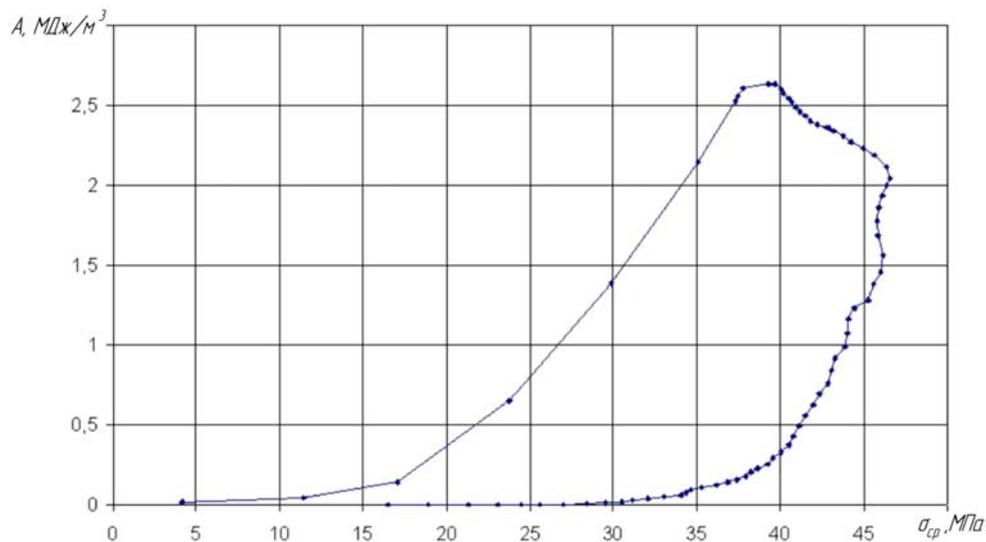


Рис. 8. Зависимость общей энергии деформирования образца НРС от средних напряжений

Таким образом, коэффициент концентрации максимального главного напряжения для предельного состояния составил 7,2, а для предела упругости 5,6. Исследования проф. Борисова [2] показывают, что предельный коэффициент концентрации напряжений в зоне опорного давления лавы составляет 5,0, таким образом, при глубине разработки 1200 м, разрушение заряда НРС в скважине не произойдет.

Выводы

Предложен способ охраны подготовительных выработок поддерживаемых за лавой, основанный на применении НРС. Для оценки возможности применения способа в условиях современных глубин разработки пластов в Донбассе проведены испытания затвердевшего в условиях ограниченных перемещений образца НРС в поле напряжений близком к формируемому вблизи разгрузочной скважины в массиве на глубине 1200 м. Показано, что разрушение образца происходит при напряженном состоянии, соответствующему тензору напряжения $z = 108$ МПа, $x=y=15$ МПа, то есть при коэффициенте концентрации максимального главного напряжения 7,2. Переход из упругой в стадию пластических деформаций наблюдается при тензоре напряжения $z = 84$ МПа, $x=y=15$ МПа. Проведенные исследования

позволили експериментально установити фізико-механічні властивості НРС в твердій фазі в умовах обобщеного сжатия.

Список использованной литературы

1. Черняк И.Л. Выбор сопротивления крепи подготовительных выработок в зоне опорного давления / И.Л. Черняк, Ю.И. Бурчаков, Е.М. Серебренник // Уголь. – 1983. – №4. – С. 16-18.
2. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов / А.А. Борисов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
3. Касьян Н.Н. Управление напряженно-деформированным состоянием горного массива с помощью невзрывчатых разрушающих материалов / Н.Н. Касьян, И.Г. Сахно // Материалы VI Международной научно-практической конференции [«Школа подземной разработки - 2012. Комплексная разработка месторождений полезных ископаемых»], (24-28 сентября 2012). – Днепропетровск –Ялта, 2012. – С. 30-38.
4. Спосіб охорони підготовчих виробок пройдених по пласту: Пат. вин. № 100270, МПК(2012.01) E21D 11/00, E21F 15/00 / І.Г. Сахно, М.М. Касьян (Україна). – а2010 15564; заявл. 23.12.2010, опубл. 10.12.2012, бюл. № 23. – 4с.:ил.
5. Невибухова руйнуюча речовина. Технічні умови: ТУ У В.2.7-26.5-24478901-004:2007. – на замину ТУ У БВ 2.7.00030937.089397. Без обмеження терміну дії. – Харьков: Госстандарт. Харьковский центр стандартизации и аэрологии, 2007. – 14 с.
6. Алексеев А.Д. Установка для испытания призматических образцов на трехосное сжатие / А.Д.Алексеев, Е.И. Осыка, А.Д. Тодосейчук // Авт. Свид. 394692. "Бюлетень изобретений". – 1973. – № 34.
7. Экспериментальная техника для исследования предельных состояний горных пород / А.Д. Алексеев, Г.П. Стариков, Т.П. Асеева, А.Ф. Морозов // Физика и техника высоких давлений. – 1993. – Т.3. – №3. – С. 135-145.

Надійшла до редакції 16.07.2013

І.Г. Сахно, А.В. Молодецький

ДЕФОРМУВАННЯ І РУЙНУВАННЯ НЕВИБУХОВОЇ СУМІШІ, ЩО САМОРОЗШИРЮЄТЬСЯ, У ТВЕРДІЙ ФАЗІ ПРИ ОБ'ЄМНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

У статті наведені результати лабораторних випробувань затверділого в умовах обмежених переміщень зразка невибухової руйнуючої суміші (НРС) у полі напружень близькому до сформованого поблизу розвантажувальної свердловини в запропонованому способі охорони виробок. Експериментально на (УНТС) визначено граничні напруги та фізико-механічні властивості НРС у твердій фазі в умовах узагальненого стиснення. Це дозволило підтвердити можливість застосування розробленого способу в умовах глибин до 1200 м.

Ключові слова: невибухові руйнівні суміші, саморозширення, гідратація, напруга, деформація.

I.G. Sakhno, A.V. Molodetsky

DEFORMATION AND FAILURE OF NON-EXPLOSIVE SELF-EXPANDING MIXTURE IN A SOLID PHASE UNDER VOLUMETRIC LOADING

The paper provides the results of laboratory tests of a solidified sample of non-explosive destructive mixture in the stress field close to that formed near a relief well in the proposed method of excavation. We defined experimentally limit stresses and physical and mechanical properties of non-explosive destructive mixtures in the solid phase under generalized contraction. This helped to confirm the possibility of using the method at depths up to 1200m.

Keywords: inexplusive destroying matters, self-expansion, hydration, stress, strain.