

УДК 620.172; 622.831

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ НЕВЗРЫВЧАТЫХ РАЗРУШАЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ФИКСИРОВАННОМ СОПРОТИВЛЕНИИ ИХ ОБЪЕМНОМУ РАСШИРЕНИЮ**

**Сахно И.Г.** (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) *sahno\_i@mail.ru*

*Представлені результати лабораторних експериментів по дослідженню особливостей роботи невибухових руйнуючих речовин в умовах обмеження їх об'ємних змін в діапазоні 0-10%.*

*The results of laboratory researches of compression-deformation description of materials are presented, factors, influencing on the size of selftension of selfbroadening compositions and the methods of management these factors are set, are exposed.*

В последнее время все больший интерес ученых и практиков привлекают технологии, основанные на применении невзрывчатых разрушающих веществ (НРВ). Круг задач, решаемых с помощью упомянутых технологий весьма широк. Традиционно НРВ применяются для невзрывного разрушения элементов ликвидируемых зданий, сооружений, фундаментов в условиях невозможности применения взрывного способа с позиций техники безопасности, есть положительный опыт применения указанных материалов при отделении от массива блоков пород, к которым предъявляются высокие требования по трещиноватости и размерам, например камнесамоцветного сырья [1]. Кроме того, имеют практическое применение различные технологии дробления негабаритных блоков пород на карьерах с использованием НРВ.

Одной из основных задач стоящих перед горнодобывающей отраслью является сокращение затрат на ведение горных работ и повышение безопасности труда работающих. Решение этих задач в ряде случаев может быть достигнуто за счет использования

НРВ. Поэтому в настоящее время разрабатываются и внедряются способы применения невзрывчатых разрушающих веществ взамен традиционных ВВ при проходке выработок, оконтуривании сопряжений выработок и ремонте вертикальных стволов [2, 3]. Обоснованы параметры новых способов поддержания [4, 5] и ремонта [6] горных выработок основанных на сжатии приконтурных пород в пределах зоны неупругих деформаций, а также проводится их промышленное внедрение.

В настоящее время в ДонНТУ разрабатывается технология управления напряженно деформированным состоянием породного массива, вмещающего горную выработку, основанная на применении саморасширяющихся материалов.

Разработка технологий и способов применения невзрывчатых разрушающих веществ в шахтных условиях должна базироваться на четком представлении механизма и использовании закономерностей их работы. С целью получения таких закономерностей автором проводятся комплексные исследования свойств материала НРВ-80, с позиций его применения в шпуровых и скважинных зарядах [7, 8].

Анализ литературных источников по данному вопросу показал, что первые упоминания о разрушающих составах на основе оксида кальция в зарубежной литературе относятся к 1981-1982 годам [9-12], в отечественной литературе 1984-1985 годам [13-14].

По мере совершенствования саморасширяющихся составов возрастало давление, развиваемое последними за счет самонапряжения. Краткая эволюция отечественных невзрывчатых саморасширяющихся материалов на основе оксида кальция приведена на рисунке 1. Информация о развиваемом давлении саморасширения взята из патентов на изобретение указанных составов, номера которых приведены по оси абсцисс.

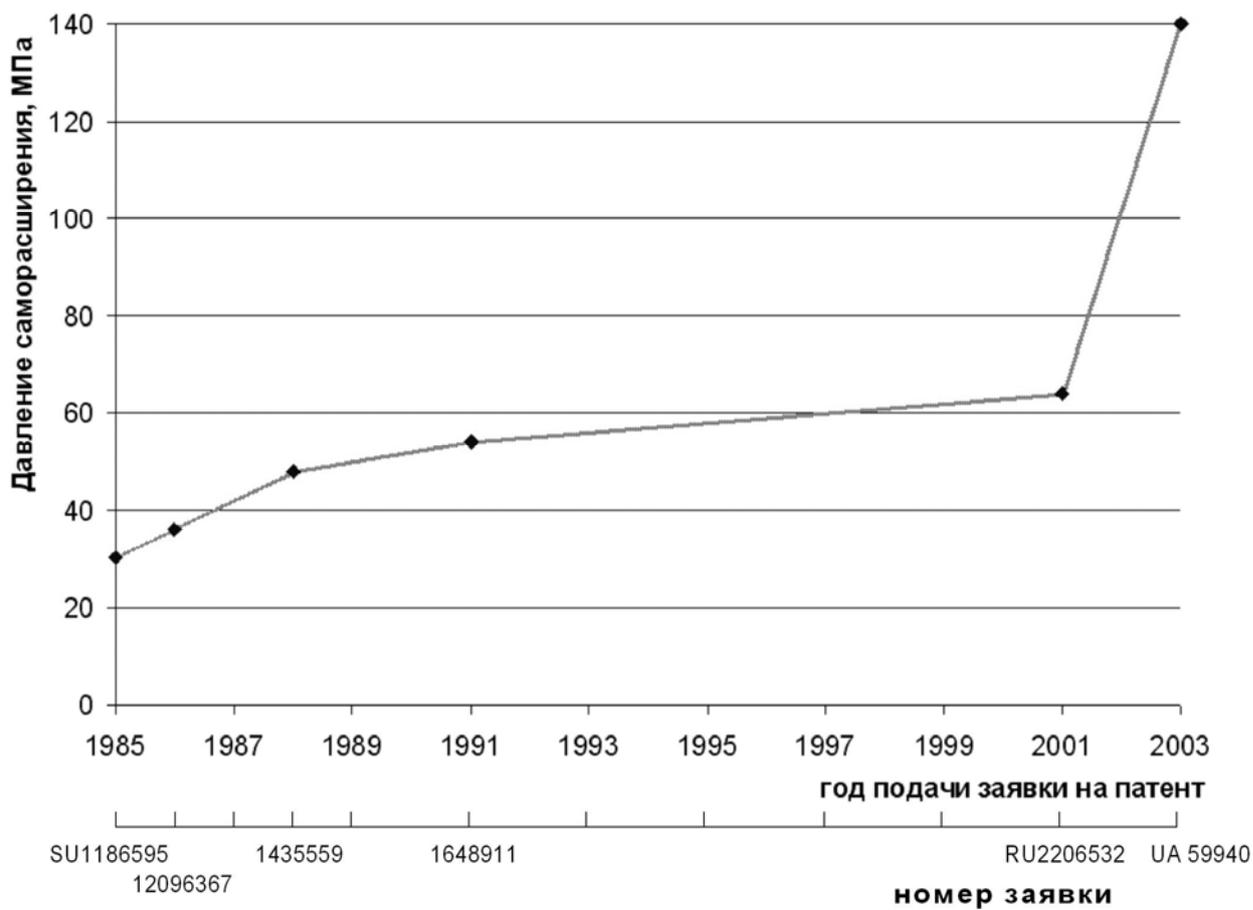


Рис. 1. График роста давления саморасширения по мере усовершенствования НРВ

Анализ приведенного графика позволяет сделать вывод, что за 20 лет применения невзрывчатых разрушающих материалов давление, развиваемое при их саморасширении, возросло более чем в 3 раза, при этом достигнута заметная стабилизация свойств последних. Так давление саморасширения, развиваемое отечественным составом НРВ-80 при температуре окружающей среды  $25-35^{\circ}\text{C}$  через 24 часа после затворения, достигает 153 МПа [15]. При таких давлениях разрушение объектов может происходить не только при превышении предела прочности материала на растяжение, но и на сжатие. Однако практика показывает, что деформирование стенок шнура содержащего НРВ, в отличие от взрывного воздействия, не происходит даже при воздействии на образцы из гипса с пределом прочности на

одноосное сжатие 20МПа [16]. А при применении невзрывчатых разрушающих составов на практике заявляемые давления от их саморасширения не развиваются. Это объясняется тем фактом, что указанные в заявках давления от саморасширения НРВ получены в идеально жестких условиях, то есть при недопущении объемных изменений последнего, например, при помещении состава в металлические трубы с жесткой пробкой [15]. Однако создание таких условий при формировании шпуровых и скважинных зарядов на практике практически невозможно. Кроме того, стадия разрушения любого материала находится после упругой и пластической стадии деформирования. Поэтому фактические давления, развиваемые НРВ, будут зависеть от физических свойств материала, на который производится воздействие, а также технических параметров конструкции шпурового заряда.

Очевидно, что величина возникающего самонапряжения обратно пропорциональна коэффициенту расширения состава. С целью получения рабочей характеристики НРВ, то есть зависимости развиваемого давления от объемных изменений были проведены лабораторные испытания в специально изготовленном приборе. Первая часть проводимых исследований была посвящена изучению свойств НРВ при значительных объемных изменениях, более 18%. Результаты проведенных исследований показали, что объемные деформации НРВ в свободном состоянии достигают 300%, а при коэффициенте расширения 1,18 давление от саморасширения составляет около 6МПа [7].

В данной статье приведены результаты второго этапа моделирования, целью которого было определение свойств невзрывчатого разрушающего материала при ограничении объемных деформациях последнего от 0 до 10%.

Изучение механизма увеличения объема материала при гидратации оксида кальция, заключающееся в росте размеров кристаллов гидроокиси кальция, позволило сделать предположение, что равномерное трехосное давление материал развивает при форме испытываемого образца близкой к шару, то

есть при равенстве размеров по трем координатным осям. Для подтверждения этого предположения был проведен специальный опыт. В металлическую форму размерами 50x50x150мм помещали раствор НРВ-80, внутрь которого на равном расстоянии от центра формы устанавливали тензодатчики сопротивления типа ПКВ-20'100 ориентированные по трем осям (рис. 2). Данные измерений подтвердили выдвинутое предположение, при одинаковом удалении от центра металлической оболочки давление от саморасширения материала было примерно равным.



Рис. 2. Общий вид эксперимента по определению давления саморасширения НРВ-80 в различных направлениях

Сказанное выше, а также принятое при физическом моделировании правило исследовать свойства на единичном объеме материала, привело к заключению, что изучать свойства НРВ необходимо при форме исследуемого образца близкой к геометрическому телу с равными размерами по трем координатным осям, в этом случае давление оказываемое на стенки прибора и выдвигной шток будет одинаковым. Поэтому

образец НРВ-80, помещаемый при моделировании между выдвижным штоком и проставкой, имел цилиндрическую форму с одинаковыми значениями диаметра и высоты.

Общая постановка эксперимента, по сути, не отличалась от изложенной в работах [7, 8]. Единственным отличием было то, что нагружение прибора и фиксация давления саморасширения НРВ-80 производились не динамометром, как на первой стадии моделирования, а непосредственно механическим прессом, что позволило повысить жесткость системы. Общий вид эксперимента приведен на рисунке 3.



Рис. 3. Положение прибора для изучения давления саморасширения НРВ между плитами пресса

После установки прибора между плитами пресса между выдвижным штоком и цилиндром устанавливалась гайка, блокирующая сжатие материала. В результате гидратации НРВ

происходил рост его объема, в результате чего шток поднимался вверх и смещал плиты пресса, что позволяло фиксировать давление от саморасширения материала. Начальное давление изменяли в диапазоне 0-60МПа путем предварительного нагружения прибора с блокирующей гайкой прессом, а происходящие объемные изменения фиксировали индикатором часового типа ИЧ-10.

Температура окружающей среды при проведении экспериментов находилась в диапазоне 23-28<sup>0</sup> С. Изменение деформаций и нагрузок во времени фиксировалось при помощи цифровой фотосъемки с интервалом 15-60 мин и занесением данных в журнал наблюдений. Графики, иллюстрирующие рост давления саморасширения НРВ-80 и соответствующие ему объемные изменения в течение 24 часов после затворения материала при отсутствии предварительного нагружения прибора прессом приведены на рисунках 4, 5. Из графиков видно, что рост давления и объемных изменений во времени имеет одинаковый характер. При этом через 24 часа после приготовления смеси давление от ее саморасширения составило около 28 МПа, а объем материала увеличился на 6,5%. Анализируя полученные графики роста давления от саморасширения НРВ-80 во времени можно выделить четыре характерных этапа в работе материала. Первый этап – от момента затворения порошка пластификатором до начала реакции гидратации. В этот период материал находится в пастообразном состоянии, его расширение и соответственно рост давления не происходит. Второй этап характерен наиболее интенсивным ростом давления саморасширения, он совпадает с активным периодом реакции гидратации. На этом этапе за 1,5-2 часа материал развивает 30-35% от давления зафиксированного в возрасте 24 часа. Третий этап отличается более низкой скоростью роста давлений, прирост еще 30-35% от давления в возрасте 24 часов происходит на этом этапе за 4-4,5 часа. Таким образом, за время первых трех этапов работы НРВ набирает 60-70% от давления в возрасте 24 часов, при суммарном времени протекания этих этапов около 30%. На четвертом этапе

происходит плавный затухающий рост давлений и объема материала.

Зависимость объемных изменений от развиваемого давления для представленного опыта приведена на рисунке 6. Из графика видна линейная зависимость между этими показателями.

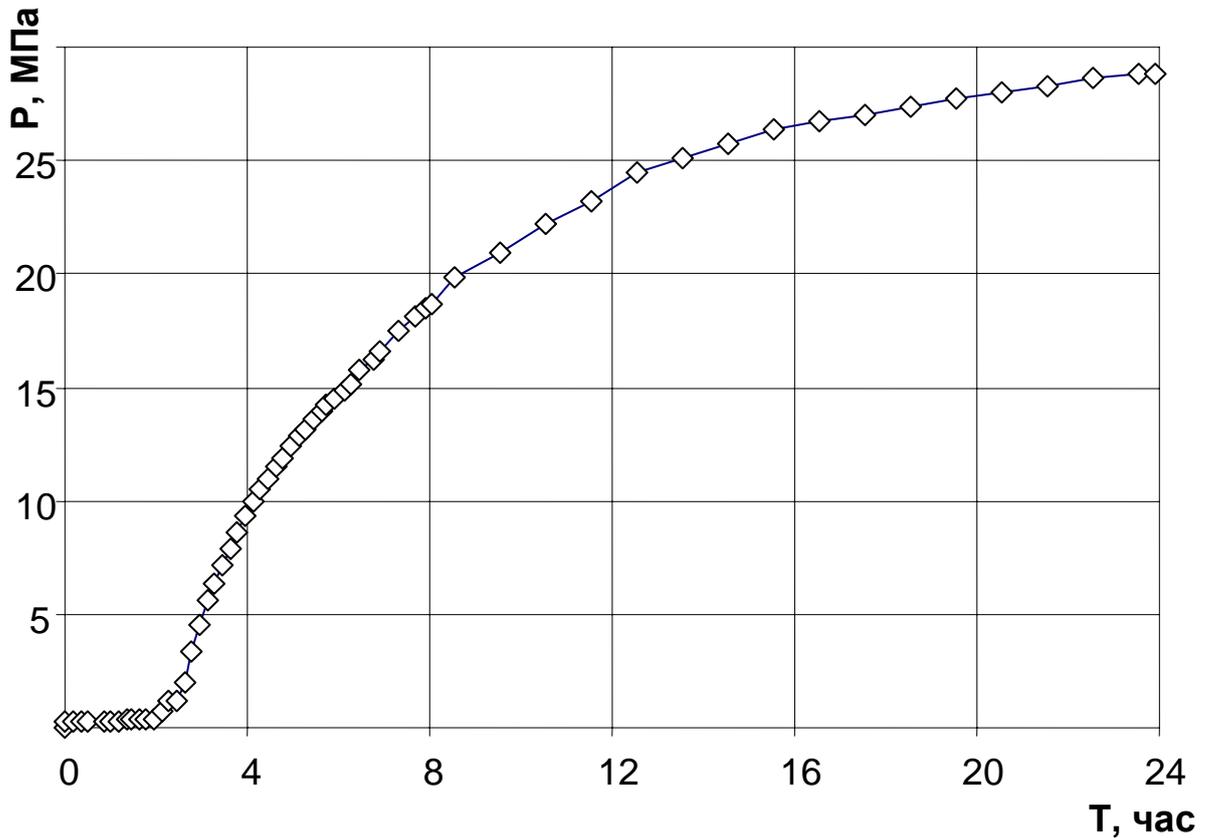


Рис. 4. График роста давления (P) саморасширения НРВ-80 во времени (T) при отсутствии предварительного нагружения прибора прессом

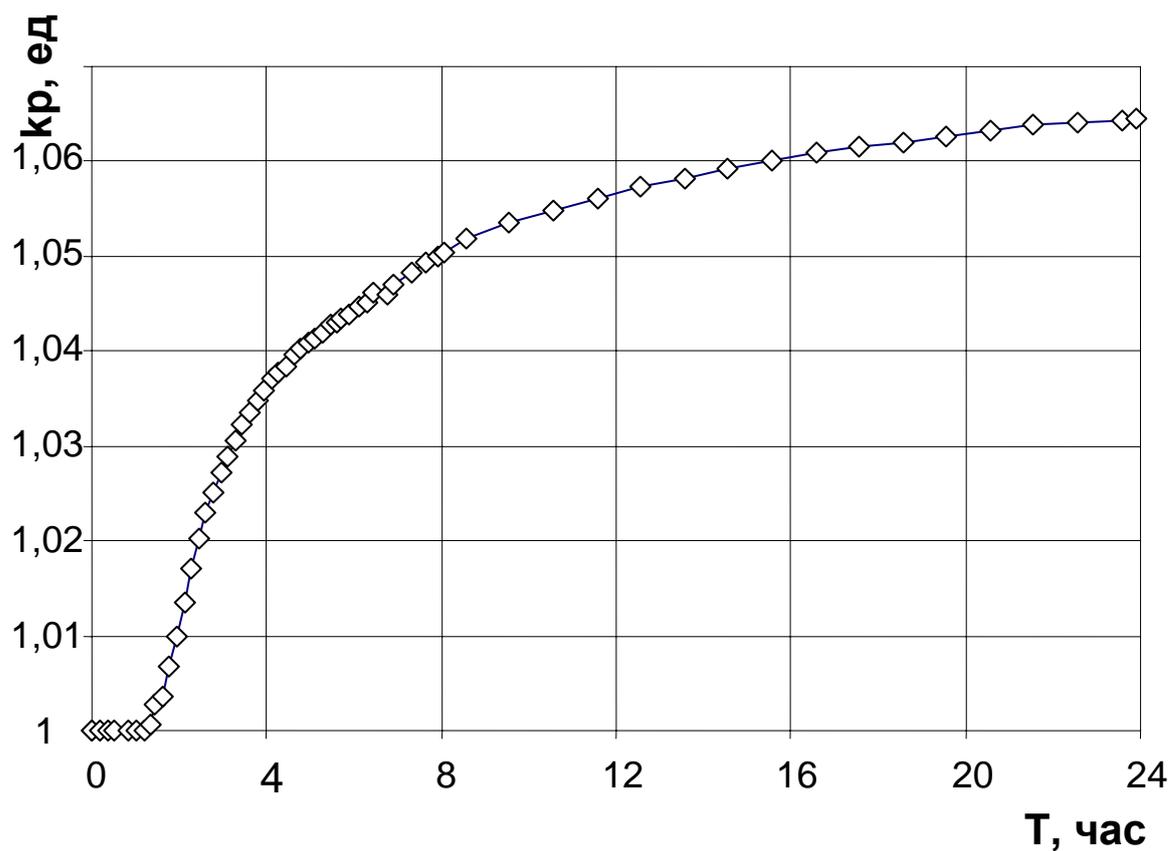


Рис. 5. График роста коэффициента расширения ( $k_p$ ) НРВ-80 во времени ( $T$ ) при отсутствии предварительного нагружения прибора прессом

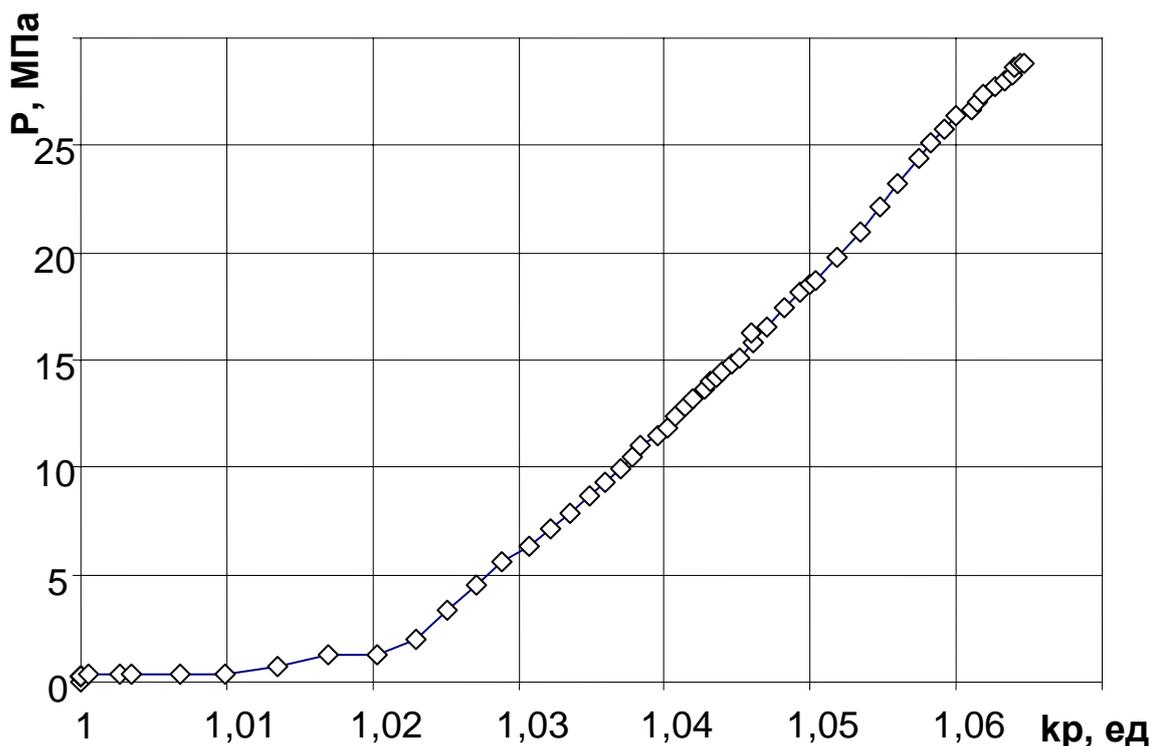


Рис. 6. График роста коэффициента расширения (кр) НРВ-80 и развиваемого при этом давления (P) во времени при отсутствии предварительного нагружения прибора прессом

После обработки результатов экспериментов был получен график (рис. 7) зависимости давления развиваемого НРВ-80 через 24 часа после приготовления состава от его объемных изменений. По сути, приведенный график является одной из основных характеристик изучаемого материала с позиций его применения в шпуровых и скважинных зарядах, он позволяет обоснованно подходить к расчету параметров и выбору схемы расположения шпуров (скважин) в породном массиве.

Анализ графика (рис. 7) показывает, что при увеличении объемных деформаций материала давление, развиваемое им, снижается, что подтверждает выдвинутое предположение о характере работы материала. Интенсивный рост давления начинается при объемных деформациях состава менее 1,5%. Поскольку определение давлений, развиваемых НРВ, проводилось через смещения плит пресса, то с достаточной

точностью удалось установить давления, развиваемые при объемных деформациях до 0,2%. Величина давления от саморасширения материала при этом составляет порядка 55 МПа. Характер кривой, приведенной на рисунке 7, позволяет с уверенностью сказать, что при ограничении объемных изменений более 0,2% давление от саморасширения НРВ-80 достигнет 80МПа и более.

При этом видно, что исследуемая зависимость может быть достаточно надежно описана логарифмическим законом. Построена линия регрессии аппроксимирующая данные экспериментов с коэффициентом корреляции  $R^2 = 0,94$ , это позволяет с уверенностью сказать о надежной связи показателей.

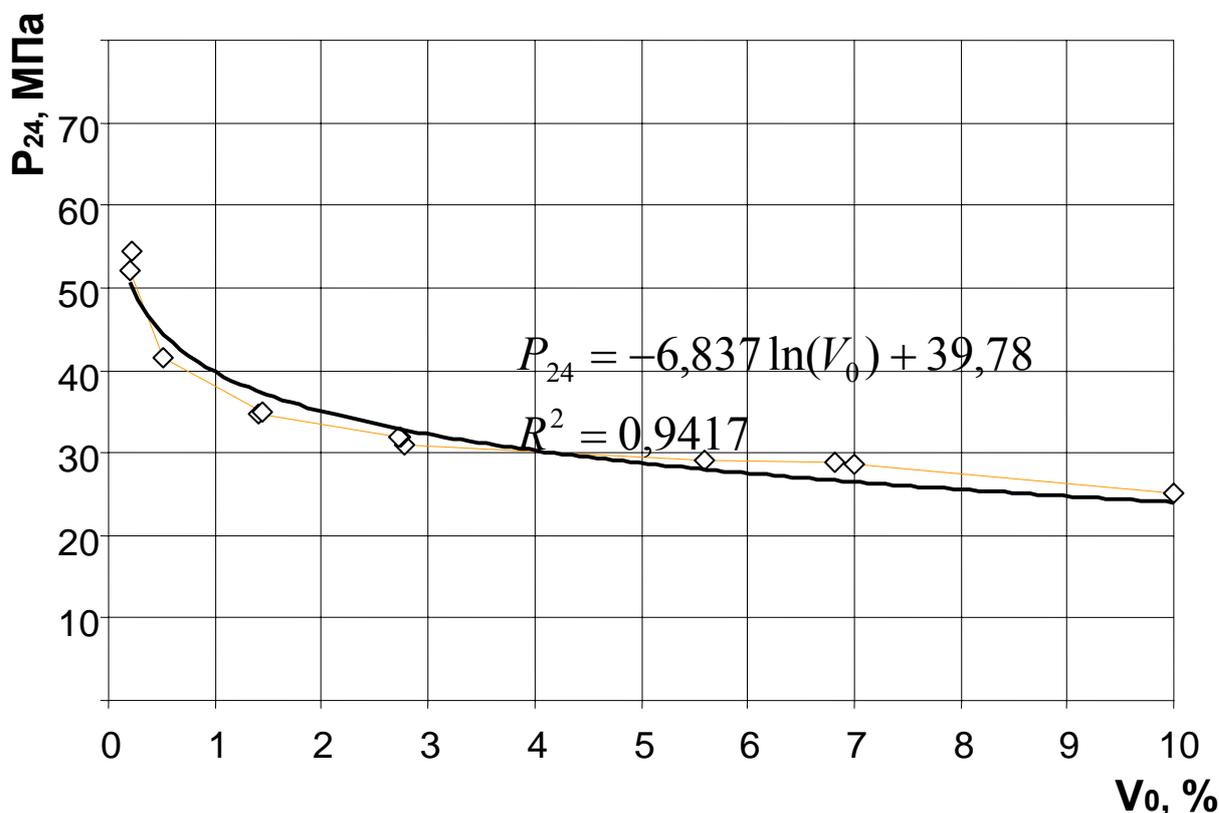


Рис. 7. График зависимости развиваемого давления саморасширения ( $P_{24}$ ) от величины объемной деформации ( $v_0$ ) через 24 часа после приготовления состава

Таким образом, эмпирическая зависимость величины давления от саморасширения материала НРВ-80 ( $P_{24}$ ) в возрасте 24 часа от допустимых объемных деформаций ( $v_0$ ) имеет вид

$$P_{24} = -6,837 \ln(V_0) + 39,78$$

При выбранной постановке задачи начало роста деформаций НРВ-80 и нагрузки на прессе, фиксируемые при помощи индикатора часового типа и шкалы прессы, позволило установить время набора материалом давления равного величине предварительного нагружения. Таким образом, после обработки результатов эксперимента была получена динамика роста давления саморасширения в исследуемом составе при отсутствии объемных изменений. График, характеризующий скорость набора давления за счет саморасширения материала приведен на рисунке 8.

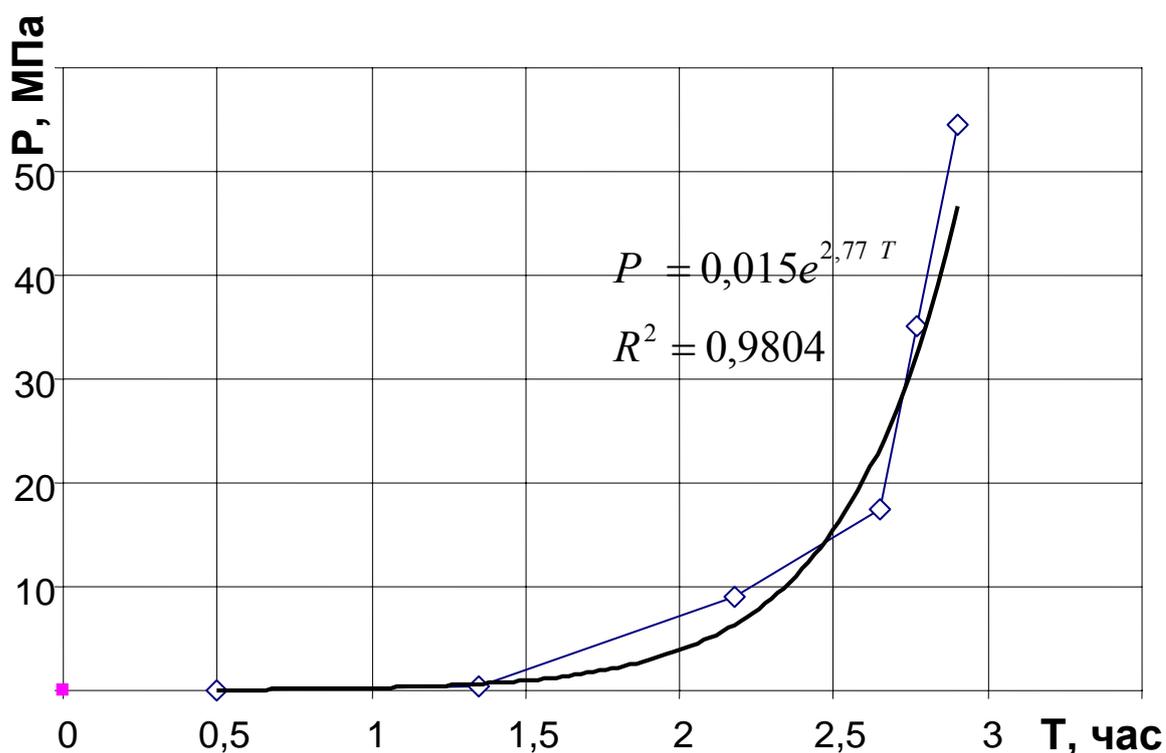


Рис. 8. Динамика роста давления ( $P$ ) саморасширения НРВ-80 во времени ( $T$ ) при отсутствии объемных деформаций исследуемого образца

Рост давления саморасширения во времени происходит с постоянно повышающейся скоростью, что может быть объяснено протеканием активного периода гидратации материала, соответствующему второму этапу работы НРВ. При этом с момента перехода материала из пластифицированного состояния в твердое, рост давления  $P$  во времени  $T$ , при отсутствии объемных изменений материала, может быть описан с коэффициентом корреляции  $R^2 = 0,98$  экспоненциальной зависимостью

$$P = 0,015e^{2,77 T} .$$

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие **выводы**.

Применение НРВ на практике показывает, что заявляемые давления от их саморасширения не развиваются. Это объясняется тем, что указанные в авторских свидетельствах давления от саморасширения НРВ получены в идеально жестких условиях, создание которых при формировании шпуровых и скважинных зарядов на практике практически невозможно. Фактические давления, развиваемые НРВ, зависят от физических свойств материала, на который производится воздействие, а также технических параметров конструкции шпурового заряда. Это должно учитываться при разработке технологий и способов применения невзрывчатых разрушающих веществ в шахтных условиях.

Рост объема и давления от саморасширения состава НРВ-80 во времени происходит в четыре этапа. Первый этап длится от момента смешивания компонентов состава до начала протекания реакции гидратации, при этом его расширение и рост давления не происходит. Второй этап совпадает с активным периодом реакции гидратации, за 1,5-2 часа материал развивает 30-35% от давления зафиксированного в возрасте 24 часа. Третий этап отличается более низкой скоростью роста давлений, прирост еще 30-35% от давления в возрасте 24 часов происходит на этом этапе

за 4-4,5 часа. На четвертом этапе происходит плавный затухающий рост давлений и объема материала, за оставшиеся 60-70% времени материал набирает еще 30% давления саморасширения.

Объемные изменения саморасширяющихся составов и развиваемые при этом давление связаны линейной зависимостью.

Величина возникающего в процессе гидратации самонапряжения обратно пропорциональна коэффициенту расширения состава. При этом эмпирическая зависимость величины давления от саморасширения материала НРВ-80 ( $P_{24}$ ) в возрасте 24 часа от допустимых объемных деформаций ( $V_0$ ), аппроксимирующая данные экспериментов с коэффициентом корреляции  $R^2 = 0,94$ , имеет вид  $P_{24} = -6,837 \ln(V_0) + 39,78$ .

Рост давления саморасширения во времени происходит с постоянно повышающейся скоростью. При этом с момента перехода материала из пластифицированного состояния в твердое, рост давления  $P$  во времени  $T$ , при отсутствии объемных изменений материала, может быть описан, с коэффициентом корреляции  $R^2 = 0,98$ , экспоненциальной зависимостью  $P = 0,015e^{2,77 T}$ .

Следует отметить, что полученные зависимости строго соответствуют только принятой постановке задачи, и могут являться качественной оценкой процесса самонапряжения исследуемого материала. Характер работы НРВ, особенно в условиях ограничения объемных изменений, зависит от температурного режима, жесткости системы «породный массив-состав НРВ», диаметра шпура и соотношения геометрических размеров пластифицированной смеси. Для получения более надежных количественных характеристик и зависимостей необходимо проведение дополнительных исследований с варьированием указанных условий в более широком диапазоне, что и является предметом дальнейших исследований автора.

## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Найданов К.Ц. Разработка щадящих технологий добычи ювелирного и поделочного самоцветного сырья (на примере Восточной Сибири): Автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.22/ГОУ ВПО «Читинский гос. ун-т». – Чита, 2007. – 21 с.

2. Шкуматов О.М., Галоян В.А. Комбінована технологія розробки прохідницького вибою криволінійно-уступної форми / Наукові праці Донецького національного технічного університету Серія: «Гірничо-геологічна». – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – Вип.10. – С. 70-73.

3. Шевцов М.Р., Калякин С.О., Купенко І.В., Шкуматов О.М., Рубльова О.І. Стан технології та обґрунтування умов руйнування суцільного середовища гірських порід і будівельних конструкцій / Проблеми гірського тиску. Донецьк: ДонНТУ, 2009, №17- С. 226-249.

4. Пат. № 51574, МПК(2009) E21D 11/00 Спосіб зміцнення гірських порід / М.М. Касьян, І.Г. Сахно, М.А. Овчаренко, О.А. Новіков, Ю.А. Петренко (Україна). – и 2010 00011; заявл.11.01.2010, опубл. 26.07.2010; Бюл. №14. – 5с.:ил.

5. Сахно І.Г., Петренко Ю.А., Овчаренко Н.А. Лабораторные исследования особенностей работы разрушенных горных пород при формировании из них несущей конструкции / Проблеми гірського тиску 2008, №16 - С 70-81.

6. Касьян М.М., Овчаренко М.А., Сахно І.Г., Петренко Ю.А., Негрій С.Г. Обґрунтування параметрів нової технології перекріплення виробок за допомогою методу скінчених елементів / Вісті Донецького гірничого інституту. – 2008. - №2. – С. 104-109.

7. Касьян Н.Н., Овчаренко Н.А., Петренко Ю.А., Сахно І.Г., Самусь О.Л. Лабораторные исследования работы невзрывчатых разрушающих веществ при упрочнении массивов разрушенных горных пород. / Науковий вісник національного гірничого університету. – 2008. – №8. – С.50-52.

8. Сахно І.Г. Лабораторные исследования свойств и разработка методов управления компрессионно-прочностными

характеристиками саморасширяющихся составов / Вісті Донецького гірничого інституту. – 2010. - №1. – С. 32-38.

9. Заявка Японии № 57-187044, . В 02 С 19/18, 1981.

10. Заявка Великобритании № 2095657, ,кл. С 1 Н, 1982.

11. Кавано Тошио. Невзрывчатое средство разрушения Секко то сэккай. Gyps and Lime, 1982, N 176, с.41-48.

12. Knobloch S. Bristar ein neuere Arbeitsstoff - Tiefbau - Berufsgenossenschaft, 1981, .№ 3, s. 184, (ФРГ).

13. Авторское свидетельство СССР № 1189831, кл. С 04 В 7/00, 1984.

14. Авторское свидетельство СССР SU 1186595 А, Опубл. 23.10.1985.

15. Деклараційний патент на винахід UA 59940 А, Опубл. 15.09.2003 р., Бюл. №9.

16. Касьян Н.Н., Сахно И.Г., Шуляк Я.О. Особенности передачи давления, от стенок шпура, содержащего невзрывчатый разрушающий материал, вглубь породного массива / Збірник наукових праць національного гірничого університету. – 2010. №34. т.1 – С. 136-143.