

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА СКОРОСТЬ ИХ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ НЕВЗРЫВЧАТЫХ РАЗРУШАЮЩИХ СОСТАВОВ

И.Г. Сахно

Донецкий национальный технический университет
ул. Артема, 58, 83001, г. Донецк, Украина

Представлены результаты лабораторных исследований работы невзрывчатых разрушающих составов в различных температурных полях, при изменении теплофизических свойств разрушаемых материалов. Предложен метод оценки распорно-компрессионных характеристик невзрывчатых разрушающих составов при разной температуре.

Ключевые слова: невзрывчатые разрушающие вещества, саморасширение, гидратация, кристаллизация, объемная деформация, компонентный состав.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Развитие технологий изготовления строительных смесей различного назначения, различных добавок, позволяющих изменять пластичность, морозостойкость, водопоглощение, управлять скоростью гидратации и кристаллизации растворов, привело к повышению интереса производителей к современным разработкам, и позволило внедрить ряд новых технологий в производство. Многие ускорители, пластификаторы и гидрофобные добавки нашли широкое применение в строительстве и горном деле. Достаточно привлекательной в настоящее время является технология невзрывного разрушения прочных монолитных объектов, основанная на применении невзрывчатых разрушающих составов (НРС), являющаяся альтернативой традиционному взрывному способу разрушения. Достоинствами этой технологии является отсутствие динамического воздействия на разрушаемый объект, выделения вредных газов, звуковых и других колебаний. Для реализации способа не требуется приобретения дорогостоящего специального оборудования, или устройств, способ может быть реализован вблизи транспортного и электрического оборудования. При этом исключается возможность их повреждения из-за отсутствия разлета частей разрушаемого объекта.

Однако, несмотря на заманчивые перспективы, практическое применение указанного способа разрушения ограничивается разрушением несущих элементов и фундаментов при демонтаже зданий, также есть опыт дробления негабаритных блоков с помощью НРС при добыче полезных ископаемых открытым способом. Это можно объяснить высокой чувствительностью разрушающих составов к температурному режиму, точности соблюдения водопорошкового отношения при затворении, а самое главное длительное по сравнению со взрывным способом время разрушения.

В настоящее время разработано большое количество различных составов НРС, однако стабилизация их свойств при различных условиях применения не достигнута. Факт влияния температуры окружающей среды на скорость разрушения объектов известен [1–4], известна закономерность снижения давления

саморасширения НРС при понижении температуры [2], исследовано влияние температуры окружающей среды на скорость гидратации [5]. При этом основное внимание исследователи обращали на снижение эффективности работы НРС в условиях низких положительных и отрицательных температур. Для условий подземных горных выработок угольных шахт Донбасса такая постановка вопроса не является актуальной, поскольку массив пород в подавляющем большинстве случаев имеет температуру более 20⁰С. Более актуально изучение особенностей работы невзрывчатых разрушающих составов в температурных полях, свойственных породам, вмещающим подземные горные выработки.

Цель работы – расширение области применения НРС, в частности использование их в условиях подземных горных выработок.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Основной задачей является сокращение времени разрушения и исключение явления самопроизвольного выброса НРС из шпура в процессе его гидратации. Для решения этой задачи автором проводятся комплексные исследования свойств саморасширяющихся материалов на основе оксида кальция, с позиций их применения в шпуровых и скважинных зарядах.

Скорость разрушения материалов при помощи НРС зависит от интенсивности повышения давления саморасширения до возможного максимума, а поскольку скорость роста давления саморасширения определяется образованием и ростом новых кристаллов в результате физико-химических превращений при гидратации оксида кальция, актуальным является вопрос исследования факторов, влияющих на скорость гидратации. Проведение экспериментальных работ по применению НРС для разрушения горных пород в условиях подземных горных выработок позволило сделать вывод о существенном несоответствии в скорости роста давления саморасширения, получаемого в лабораторных условиях, с натурными наблюдениями даже при их работе в одном температурном поле. Для изучения этого явления были проведены лабораторные исследования особенностей протекания реакции гидратации в различных материалах вмещающих заряд НРС.

Приготовленный раствор НРС при помощи шприца помещали в цилиндрические оболочки диаметром 2 см из различного материала. В качестве материала оболочек применяли пенопласт (1), пластик (2), дерево (сосна) (3), гипс (4), сталь (5), объем раствора НРС в оболочках составлял 2 см³. Температура окружающей среды при эксперименте составляла 23⁰С.

Исследования, представленные в работе [5], показали что в качестве индикатора скорости процесса гидратации может выступать изменение температуры НРС. Поэтому внутрь оболочки с НРС устанавливали электронный лабораторный термометр с точностью 0,1⁰С. Затем при помощи видеосъемки фиксировали изменение температуры материала во времени. После обработки результатов эксперимента получили графики характеризующие скорость гидратации НРС, помещенного в оболочки из различных материалов (рис. 1).

Анализ результатов эксперимента показывает, что НРС, помещенный при одинаковой температуре в материалы с разными теплофизическими свойствами, имеет разную скорость гидратации, а также разную скорость и абсолютную величину

приращения объема. В качестве критерия, позволяющего учесть теплофизические свойства материалов целесообразно принять коэффициент температуропроводности. Так, для проведенного эксперимента температуро-проводность составит: пенопласт – 0,000130, пластик – 0,000199, сосна – 0,000212, гипс – 0,000382, сталь – 0,01273 м²/с соответственно.

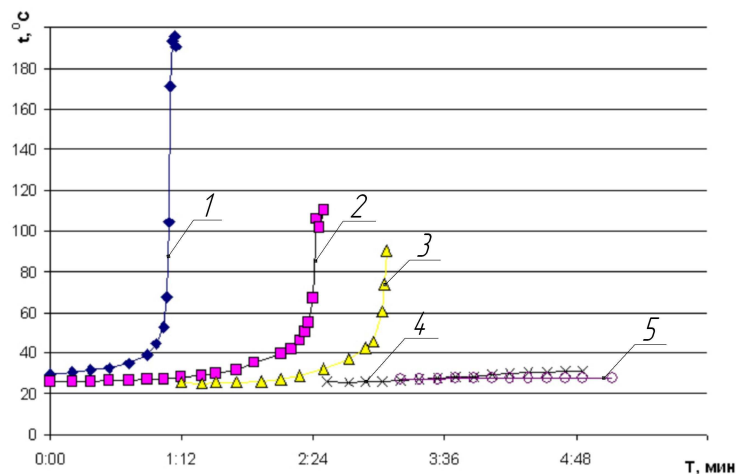


Рисунок 1 – Графики роста температуры НРС в оболочке из различных материалов: 1 – пенопласт, 2 – пластик, 3 – дерево (сосна), 4 – гипс, 5 – сталь

Поскольку рассматриваемый процесс является экзотермическим, а на скорость реакции гидратации оказывает существенное влияние температура, то следует учитывать теплообменные процессы между НРС и вмещающим его материалом. Другими словами – происходит рассеяние тепловой энергии от самонагревающегося в результате физико-химических превращений состава НРС в окружающий массив. Чем больше тепловой энергии сохраняет состав, тем больше скорость его гидратации и роста структурных новообразований. Процесс охлаждения внутришпурового заряда НРС является нестационарным тепловым процессом.

Моделирование при нестационарных режимах должно выполняться с соблюдением критериев подобия теплопроводности [6]. В нашем случае в качестве критерия подобия целесообразно принять число Фурье, которое характеризует соотношение между скоростью изменения тепловых условий в окружающей среде и скоростью перестройки поля температуры внутри рассматриваемого тела, который зависит от размеров тела и коэффициента его температуропроводности:

$$F_o = \frac{a \cdot t}{L^2},$$

где a – коэффициент температуропроводности;
 t – характерное время изменения внешних условий, час;
 L – характерный размер тела, м.

$$a = \frac{\chi}{c_p \cdot \rho}$$

где χ – теплопроводность, Вт/(м·К);
 c_p – изобарная удельная теплоемкость, кДж·кг⁻¹·К⁻¹;
 ρ – плотность, кг/м³.

При моделировании имитируется заряд НРС, помещенный в ампуле в шпур диаметром 0,04 м пробуренный в блоке песчаника размерами 0,5x0,5x0,3 м. В качестве материала, содержащего НРС, при моделировании принимается вода. Необходимый диаметр (L) оболочки с водой, при диаметре оболочки с НРС при моделировании, равным 0,04 м, и одинаковом времени изменения внешних условий (нагревание НРС при гидратации) рассчитаем с учетом приведенного выше критерия подобия:

$$\frac{\chi_{\text{песч}} \cdot t}{c_{p_{\text{песч}}} \cdot \rho_{\text{песч}} \cdot L_{\text{песч}}^2} = \frac{\chi_{\text{H}_2\text{O}} \cdot t}{c_{p_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot L_{\text{H}_2\text{O}}^2}$$

$$L_{\text{H}_2\text{O}} = \sqrt{\frac{\chi_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{p_{\text{песч}}} \cdot \rho_{\text{песч}} \cdot L_{\text{песч}}^2}{c_{p_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \chi_{\text{песч}}}}$$

Подставив данные, получим:

$$L_{\text{H}_2\text{O}} = \sqrt{\frac{0,58 \cdot 0,84 \cdot 2500 \cdot 0,5^2}{4,183 \cdot 1000 \cdot 2}} = 0,19 \text{ м.}$$

С учетом полученных результатов был проведен эксперимент, в котором приготовленный раствор НРС помещался в тонкую резиновую оболочку диаметром 0,04 и длиной 0,25 м, внутрь которой устанавливали лабораторный электронный термометр для фиксации температуры смеси при гидратации. Эта конструкция помещалась в прозрачную оболочку цилиндрической формы диаметром 0,19 м, наполненную водой на высоту 30 см. На цилиндрической оболочке была нанесена шкала для фиксации объемных изменений НРС. Увеличение объема состава является индикатором роста количества и размеров структурных новообразований, а следовательно давления саморасширения НРС. Температура затворенного раствора в начале всех экспериментов составляла 22⁰С.

Температура воды при проведении моделирования изменялась в диапазоне 20–50⁰С, в течение каждого эксперимента кратковременное отклонение температуры воды от заданного на протяжении опыта могло составлять 1⁰С, что связано с технической стороной эксперимента. Температура 20⁰С соответствовала рекомендуемому режиму работы НРС [7], детально проработан диапазон 30–40 градусов, поскольку в этом диапазоне находится температура вмещающих пород большинства шахт Донбасса. График изменения температуры НРС и его объемных изменений в зависимости от температуры окружающей среды приведен на рис. 2.

Анализ результатов проведенных экспериментов показывает, что повышение температуры окружающей среды приводит к интенсификации скорости гидратации и соответственно – к увеличению объемных изменений материала. Так, при температуре окружающей среды 20⁰С рост температуры НРС начинается через 175 мин. после затворения раствора, а объемные изменения – через 270 минут. Начало объемных изменений материала начинается при температуре 40⁰С. Максимальное увеличение объема материала достигает 20% от первоначального, температура НРС возвращается к начальной через 360 мин., изменение объема материала не происходит.

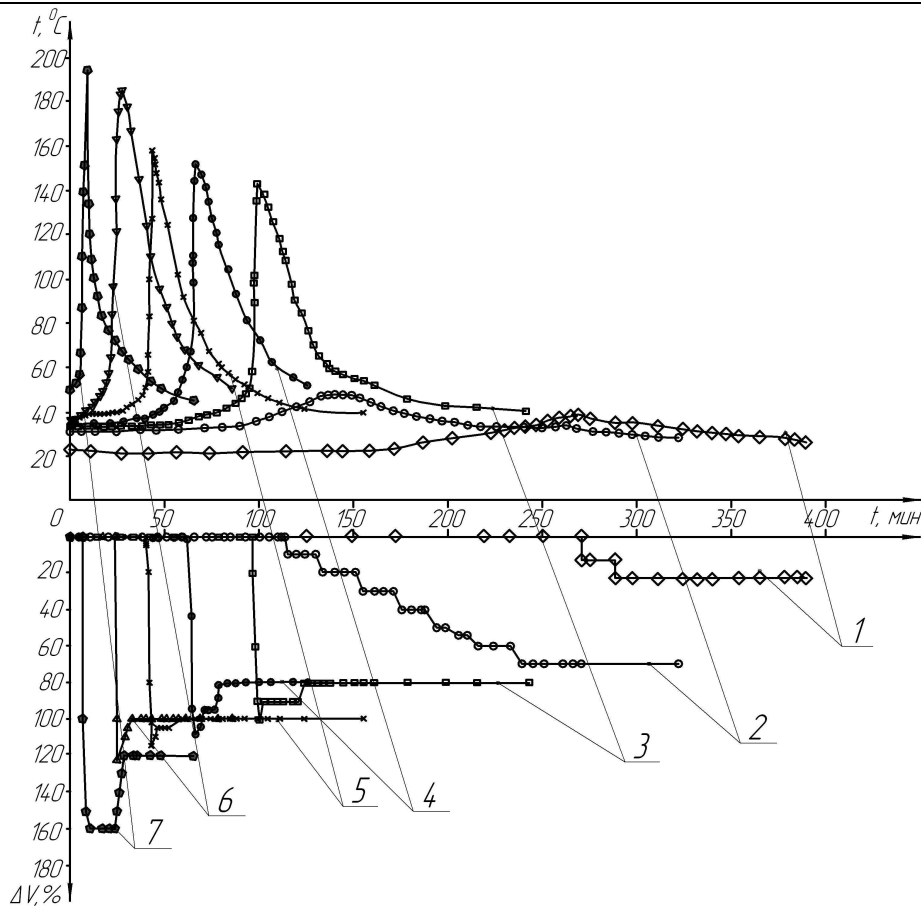


Рисунок 2 – Изменение температуры НРС (t , $^{\circ}\text{C}$) и его объемных изменений (ΔV , %) во времени (t , мин) при температуре окружающей среды 1 – 20°C , 2 – 30°C , 3 – 32°C , 4 – 35°C , 5 – 37°C , 6 – 42°C , 7 – 50°C

При температуре окружающей среды 30°C рост температуры НРС начинается через 90 минут после затворения раствора, а объемные изменения через 120 минут, начало объемных изменений материала начинается при температуре НРС около 40°C , что характерно для всех экспериментов. Максимум достигнутой температуры составляет 45 градусов. Следует отметить, что объем НРС увеличивается плавно в течение 120 мин., несмотря на снижение температуры от 45 до 33°C .

При температуре окружающей среды 32, 35, 37, 42, 50°C наблюдается другой характер работы НРС, заключающийся в резком скачкообразном повышении температуры состава при достижении им отметки около 50°C и соответственном увеличении объема материала.

Повышение начальной температуры окружающей среды до 32, 35, 37, 42, 50°C приводит к началу роста температуры НРС через 60, 40, 30, 18 и 4 минуты соответственно, а период интенсивного роста температуры и объема НРС начинается через 95, 64, 40, 18 и 5 минут соответственно. Максимальная температура при этом изменяется от 150 до 195°C , а объем увеличивается на 100–160%. Графики, характеризующие время начала роста температуры НРС и его объемных изменений при различной температуре материала вмещающего состав приведены на рис. 3.

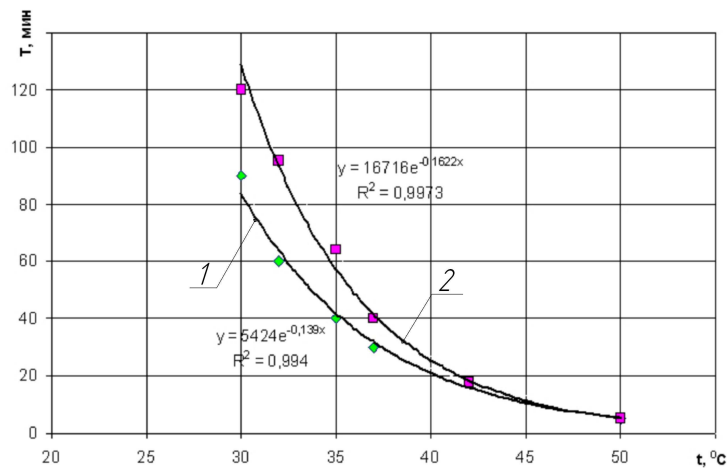


Рисунок 3 – Графіки залежності часу початку росту температури НРС (1) і його об'ємних змін (2) при різній температурі середовища

Аналіз графіків, представлених на рис. 3 показує, що час початку гідратації і росту об'єму структурних новоутворень експоненціально залежить від температури матеріалу, що містить НРС. Так, час початку гідратації НРС, індикатором якого служить зростання температури складу, при підвищенні температури об'єкта, що його містить, в діапазоні 30–50⁰С, з коефіцієнтом кореляції 0,994 описується залежністю:

$$T_z = 5424e^{-0,139t}, \text{ мин},$$

а час початку росту структурних новоутворень, індикатором якого служить зростання об'єму матеріалу, при підвищенні температури об'єкта, що його містить, в діапазоні 30–50⁰С, з достовірністю апроксимації 0,997 описується залежністю:

$$T_o = 16716e^{-0,162t}, \text{ мин}.$$

В даний час розроблено велика кількість складів НРС, а т.к. технологія виробництва матеріалу не дозволяє точно дотримувати пропорції входять хімічних речовин, існує розбіжність між декларованими показателями і фактичними. Така розбіжність спостерігається не тільки між партіями постачаного НРС, але навіть в межах однієї партії. Тому для об'єктивного обґрунтування параметрів різних технологій, заснованих на використанні НРС, необхідно періодична оцінка розпорно-компресійних характеристик застосовуваних складів в умовах температурних полів і теплофізичних властивостей руйнуваних матеріалів.

Для цієї мети був розроблений спеціальний стенд для випробувань невзривчатих руйнувальних речовин, в якому забезпечується можливість проведення комплексних досліджень властивостей невзривчатих руйнувальних речовин в різних температурних полях (рис. 4).

Стенд для випробувань невзривчатих руйнувальних речовин, містить джерело зовнішнього тиску 1, між силовиими елементами встановлюється корпус 2 з випробувальною камерою 3, всередині якої розміщується рухома перегородка 4. В кор-

Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 2/2011(8).

пуде испытательной камеры 3 содержится нагревательный элемент 5, который соединен с датчиком температуры 7, установленном на внутренней стороне камеры 3, и соединенном с блоком управления 8. В испытательной камере 3 также размещен датчик температуры 9 игольчатого типа исследуемого образца 10 НРС. Между силовыми элементами источника внешнего давления 1 устанавливается индикатор часового типа 12.

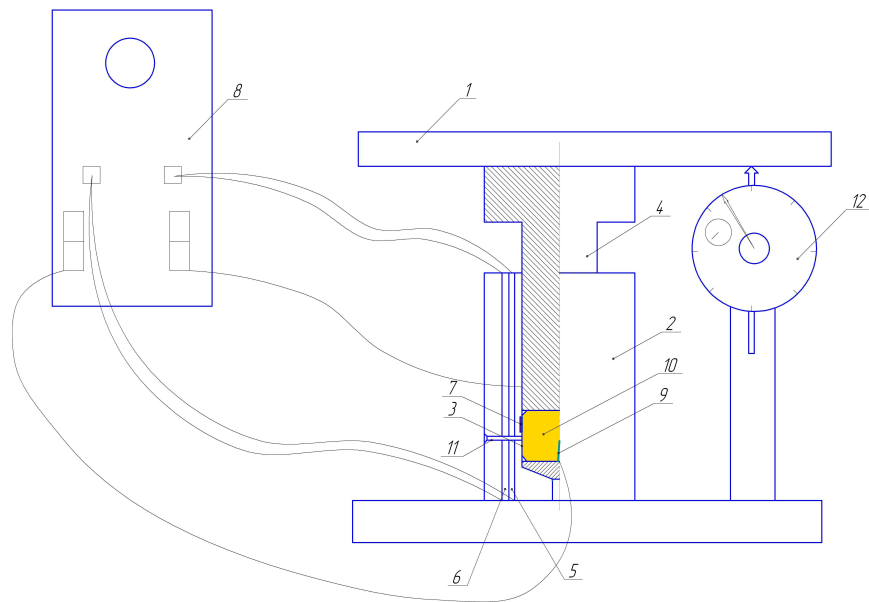


Рисунок 4 – Стенд для исследования распорно-компрессионных характеристик НРС

Размещение в корпусе испытательной камеры нагревательного элемента, соединенного с датчиком температуры, установленном на внутренней стороне камеры и имеющем выход к блоку управления, позволяет задавать различные температурные режимы среды, вмещающей НРС, что дает возможность моделировать работу разных составов НРС в различных температурных полях. Снабжение корпуса испытательной камеры датчиком температуры исследуемого образца НРС позволяет фиксировать самонагревание НРС в процессе гидратации, что дает возможность сделать вывод о скорости протекания реакции гидратации и ее стадии, а также исследовать связь между изменением температуры НРС и давлением его саморасширения.

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Согласно плану эксперимента на блоке управления 8 выставляют требуемую температуру внешней среды, которая будет равна температуре корпуса 2. При необходимости повышения температуры корпуса 2 включается нагревательный элемент 5, фиксация температуры производится датчиком температуры 7. После достижения требуемой температуры корпуса 2 в испытательную камеру 3 корпуса 2 помещают образец 10 исследуемого НРС. При этом датчик 9 игольчатого типа фиксирует температуру образца 10 и передает данные на блок управления 8. В корпус 2 испытательной камеры 3 сверху исследуемого образца 10 НРС устанавливают поршень 4. Приготовленные таким образом корпус 2 с поршнем 4 помещают между силовыми элементами источника внешнего давления 1. Согласно плану эксперимента устанавливают необходимое внешнее давление. Увеличение объема образца 10 НРС в процессе его гидратации создает давление на поршень 4, фиксируемое датчиком давления источника внешнего питания 1, а также вызывает повышение температуры образца 10, фиксируемое датчиком температуры 9,

при этом силовые элементы источника внешнего питания 1 смещаются их перемещения фиксируются индикатором часового типа 12. Все регистрируемые данные записываются в модуль памяти блока управления 8.

Учет теплофизических свойств разрушаемых материалов при таком моделировании проводится через поправочный коэффициент, получаемый опытным путем при проведении серии тестовых экспериментов.

ВЫВОДЫ. Скорость реакции гидратации и роста объема структурных новообразований в НРС, определяющая время разрушения объектов, экспоненциально зависит от температуры среды вмещающей состав. Повышение температуры НРС в процессе гидратации до 50⁰С приводит к ее скачкообразному росту выше отметки 100⁰С и образованию паров структурно несвязанной воды, давление которых приводит к выбрасыванию смеси из шпуров. Поэтому управление скоростью гидратации оксида кальция путем простого повышения температуры не позволит повысить скорость разрушения объектов и эффективность работы НРС.

Скорость гидратации и давление саморасширения НРС зависит не только от температуры состава, но и от теплофизических свойств материала, в который он помещен, что объясняется потерями тепловой энергии НРС за счет ее рассеяния в окружающую среду. В качестве критерия, позволяющего учитывать теплофизические свойства материала вмещающего НРС, целесообразно использовать коэффициент температуропроводности.

Высокая эффективность НРС может быть достигнута при условии максимально быстрой его гидратации и при этом недостижении составом температуры 50⁰С, поскольку эта величина является пороговой для скачка скорости реакции.

Для объективного обоснования параметров различных технологий основанных на применении НРС, необходима периодическая оценка распорно-компрессионных характеристик применяемых составов в условиях температурных полей и теплофизических свойств разрушаемых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевцов М.Р., Калякин С.О., Купенко І.В. і ін. Стан технології та обґрунтування умов руйнування суцільного середовища гірських порід і будівельних конструкцій // Проблеми гірського тиску. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – № 17. – С. 226–249.
2. Деклараційний патент на винахід UA 59940 А; опубл. 15.09.2003 р., Бюл. № 9.
3. Авторское свидетельство СССР SU 1186595 А; опубл. 23.10.1985.
4. Коровников В.И., Стариков Г.П., Морев А.М., Коврига Н.Н. Фазовое состояние саморасширяющегося водного раствора и его разрушающее воздействие на шахтные образцы пород // Снижение травматизма при взрывных работах в угольных шахтах: Сб. научн. тр. МакНИИ, 1988. – С. 81–93.
5. Касьян Н.Н., Сахно И.Г., Шуляк Я.О. Обоснование методов управления скоростью роста распорно-компрессионных характеристик невзрывчатых разрушающих веществ // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2010. – № 2. – С. 209–219.
6. Кутателадзе С.С. Анализ подобия и физические модели. – Новосибирск: Наука, 1986.
7. ТУ У В.2.7-26.5-24478901-004:2007 Невибухова руйнуюча речовина. Технічні умови. – на заміну ТУ У БВ 2.7.00030937.089397. Без обмеження терміну дії. – Харьков: Госстандарт. Харьковский центр стандартизации и аэрологии, 2007. – 14 с.

REFERENCES

1. Shevtsov M., Kalyakin S., Kупenko I. and as. State of technology and studying of fracture continuum of rocks and structures // Rock pressure problems. – Donetsk: DonNTU, 2009. – № 17. – P. 226–249 [in Ukrainian].
2. Patent for invention UA 59940 A; publ. 15.09.2003 p., Bull. № 9 [in Ukrainian].
3. USSR Author's Certificate SU 1186595 A; publ. 10.23.1985.
4. Barns V., Starikov G., Morev A., Kovriga N. Phase state of aqueous solution of self-expanding and its devastating impact on the mine rock samples // Reducing injuries resulting from blasting in mines: Sat. Nauchn. tr. McNeil, 1988. – P. 81–93 [in Russian].
5. Kasian N., Sakhno I., Shulyak Ya. Substantiation for management growth rate of thrust-compression characteristics of non-explosive depleting substances // News of Donetsk Mining Institute. – 2010. – № 2. – P. 209–219 [in Russian].
6. Kutateladze S. Analysis of similarity and physical models. – Novosibirsk: Nauka, 1986 [in Russian].
7. TU B.2.7-26.5-24478901-004: 2007 Inexplosive destroying substance. Specifications. – To replace the TU BV 2.7.00030937.089397. Without limitation of the duration/ - Kharkov: State Standard. Kharkiv Centre for Standardization and aerology, 2007. – 14 p [in Ukrainian].

EFFECT OF TEMPERATURE AND THERMAL PROPERTIES OF MATERIALS ON THEIR FAILURE RATE BY USE OF NON-EXPLOSIVE DEPLETE COMPOSITIONS

I. Sakhno

Donetsk National Technical University
Artem, 58, 83001, Donetsk, Ukraine

The laboratory researches of performance of inexplosive destroying compositions are resulted for different temperature fields and for variable thermo-physical properties of the materials destroyed. The method of estimation of tension-compression descriptions of inexplosive destroying compositions for different temperatures is offered.

Key words: non-explosive depleting materials, self-expansion, hydration, crystallization, volumetric strain, composition.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ І ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ НА ШВИДКІСТЬ ЇХ РУЙНУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕВИБУХОВИХ РУЙНІВНИХ СОСТАВІВ

І.Г. Сахно

Донецький національний технічний університет
Артема, 58, 83001, м. Донецьк, Україна

Представлені результати лабораторних досліджень роботи невибухових руйнуючих складів у різних температурних полях при зміні теплофізичних властивостей руйнованих матеріалів. Запропонований метод оцінки компресійно-розпорних характеристик НРС при різній температурі.

Ключові слова: невибухові руйнівні речовини, саморозширення, гідратація, кристалізація, об'ємна деформація, компонентний склад.

Стаття надійшла до друку 14.10.2011.

Рекомендовано до друку д.т.н., проф. Драгобецьким В.В.