

# ВІСТІ

ISSN 1999-981X

## ДОНЕЦЬКОГО ГІРНИЧОГО ІНСТИТУТУ



1 (32). 2013

Присвячується 90-річчю Гірничого факультету ДонНТУ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,  
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

---



Присвячується **90** річчю Гірничого факультету  
ДонНТУ

# ВІСТІ

## ДОНЕЦЬКОГО ГІРНИЧОГО ІНСТИТУТУ

Всеукраїнський науково-технічний

журнал гірничого профілю

Виходить 2 рази на рік

Засновано у липні 1995 року

# 1(32)2013

ДОНЕЦЬК – 2013

УДК 666.9.015, 622.063.23

**И.Г. САХНО (канд. техн. наук.)**

Донецкий национальный технический университет, Донецк

### **ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ГИДРАТАЦИИ И ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ САМОРАСШИРЯЮЩИХСЯ СМЕСЕЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

В статье приведены результаты лабораторных исследований изменения скорости гидратации невзрывчатых разрушающих смесей на основе оксида кальция при воздействии на них электрического тока. Проведены исследования влияния напряжения на инициирование интенсификации работы смесей, а также интервала времени между приготовлением смеси и воздействием электричества на скорость гидратации и фазовое состояние продуктов расширения смеси. Обобщены результаты нескольких экспериментальных циклов, что позволило разработать способ разрушения горных пород.

**Ключевые слова:** невзрывчатые разрушающие смеси, саморасширение, гидратация, электричество, напряжение.

В современной отечественной и зарубежной практике накоплен большой опыт использования невзрывчатых разрушающих смесей (НРС) на основе оксида кальция. Применение НРС в промышленном строительстве связывают с ликвидацией бетонных несущих конструкций и фундаментов в работающих цехах и других объектах при их реконструкции [1], в дорожном строительстве – с разрушением асфальтобетонного покрытия [2] и др. Основными преимуществами невзрывного разрушения является отсутствие звукового эффекта, разлета частей разрушенного объекта, возможность разрушения вблизи работающего оборудования и людей без изменения технологического процесса. Перспективными направлениями применения НРС в условиях угольных шахт является их использование при проходке выработок, оконтуривании сопряжений, креплении выработок, восстановлении эксплуатационного сечения и др.

Важнейшей практической задачей применения НРС в условиях подземных горных выработок является управление временем разрушения пород. Управление скоростью гидратации в настоящее время осуществляют в основном за счет использовании химических добавок, имеющих экзотермическую реакцию с оксидом кальция, однако в этом случае ускорение реакции наблюдается сразу после приготовления смеси. Таким образом, приготовление одной порции смеси для заряжения большого количества шпуров является затруднительным. Так как во время заряжения НРС в шпур, в емкости с приготовленной смесью, реакция гидратации также протекает, что может привести к неуправляемому повышению скорости реакции и фазовому переходу НРС непосредственно в смесительной емкости или в негерметизированных шпурах в процессе заряжения. Это снижает производительность и безопасность работ и может способствовать возникновению аварийных ситуаций. Таким образом, возникает необходимость приготовления смеси малыми порциями, что повышает трудоемкость работ и время на заряжение шпуров. При этом обеспечение точности поочередного разрушения остается практически нерешенной задачей.

Поиск способа управления процессом гидратации НРС, для обеспечения необходимой очередности разрушения пород по линиям шпуров, который позволил бы сократить время разрушения пород в условиях подземных горных выработок, является важной научной задачей. При этом по постановке задачи важным моментом при практической реализации является приготовление НРС для всего необхо-

димого количества шпуров, их зарядание, и только после этого инициирование процесса разрушения в требуемом порядке.

Физической предпосылкой, позволяющей подойти к решению поставленной задачи, является установленная автором в лабораторных условиях особенность процесса гидратации НРС в электрическом поле.

Для изучения особенностей работы НРС под влиянием электрического тока были проведены лабораторные исследования, в которых через образец НРС цилиндрической формы с диаметром основания цилиндра 40мм и длиной 60мм, имитировавший фрагмент заряда в шпуре, пропускали ток различного напряжения. При этом фиксировали изменение температуры НРС с помощью электронных лабораторных термометров DM-9231A.

Эксперименты проводились в два этапа. На первом этапе образцы находились в свободном состоянии в воздушной среде, во втором - образцы помещали в теплоизолированную емкость с водой различной температуры, размеры которой определяли с помощью критерия теплопроводности Фурье.

Регулирование напряжения осуществляли в диапазоне 5-70В с помощью лабораторного автотрансформатора ЛАТР 2,5, который предназначен для плавного регулирования напряжения переменного тока частотой 50 или 60 Гц. Для защиты от короткого замыкания ЛАТР включали в сеть, которая защищена плавкими предохранителями с током плавкой вставки 10А. При повышении напряжения выше 70В в проводимых экспериментах, при расстоянии между электродами  $l=6\text{см}$ , перегорала плавкая вставка предохранителя. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

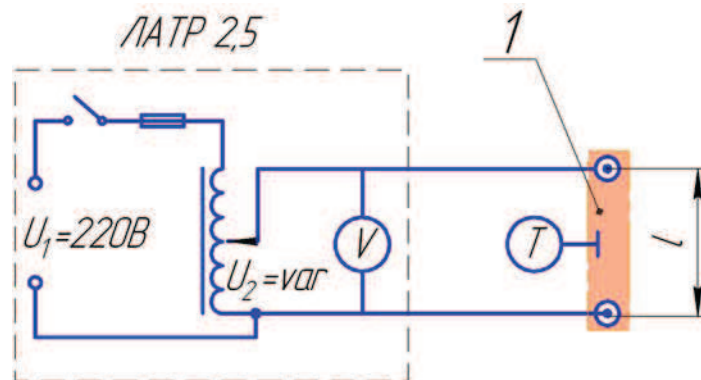


Рис. 1. Схема установки для исследования влияния электрического тока на скорость гидратации НРС  
1 – образец НРС.

В результате проведения первого этапа эксперимента с образцами НРС в воздушной среде с температурой  $25^{\circ}\text{C}$  были получены графики изменения температуры смеси во времени при воздействии на образец электричества с различным напряжением (рис. 2). Базовым образцом для проведения сравнения был выбран образец НРС, через который ток не пропускали. Из графиков видно, что для всех образцов наблюдается рост скорости гидратации при воздействии на них электричества, по сравнению с базовым образцом. Повышение напряжения более 20В при расстоянии между электродами 6см приводит к ускорению реакции более чем в 10 раз. Напряжение 20 и более В приводит к срабатыванию смеси в течение 10мин и менее.

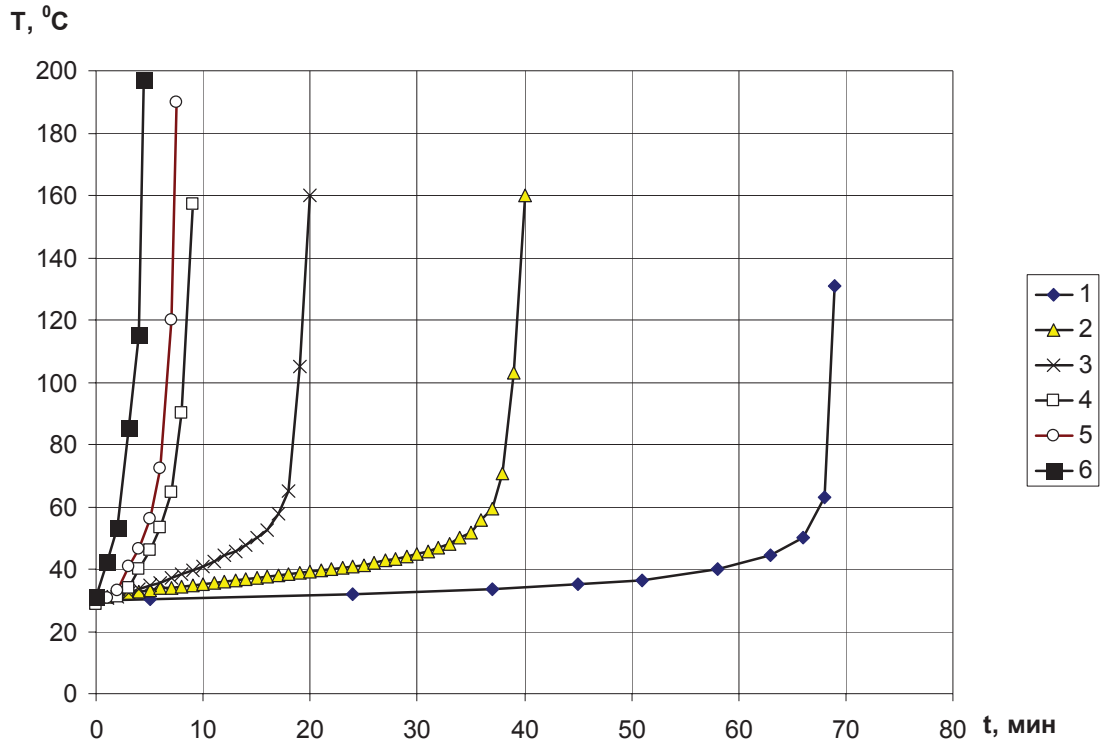


Рис. 2. Графіки змінення температури суміші во времени при впливнні на образец електричності с напругою  
1 – 0В, 2 – 5В, 3 – 10В, 4 – 20В, 5 – 30В, 6 – 40В

Количественную оценку полученного эффекта ускорения реакции гидратации смеси предлагается проводить с помощью коэффициента ускорения, равного отношению времени протекания 1 и 2 стадий гидратации [3] для базового образца к аналогичному времени для образца, на который воздействует электрический ток (рис. 3). Полученные данные хорошо аппроксимируются экспоненциальной зависимостью  $k_p = 1,237e^{0,0912U}$ , с коэффициентом корреляции 0,987. Из полученных результатов видно, что при воздействии напряжения в диапазоне 5-60В скорость реакции повышается до 300 раз. Полученные результаты показали принципиальную возможность управления скоростью гидратации НРС воздействием электрического тока. Таким образом, было установлено, что с помощью электричества можно инициировать интенсификацию работы НРС.

Задачей второго этапа исследований было определение закономерностей протекания процесса в термодинамических условиях, характерных для горных пород в подземных горных выработках в режиме реального времени при инициировании ускорения реакции с заданным интервалом. При этом одновременно фиксировали изменение температуры смеси и увеличение ее объема. Исследования проводили при воздействии на образцы напряжения 5-70В. Результаты, полученные при напряжении 30В, представлены на рисунках 4, 5.

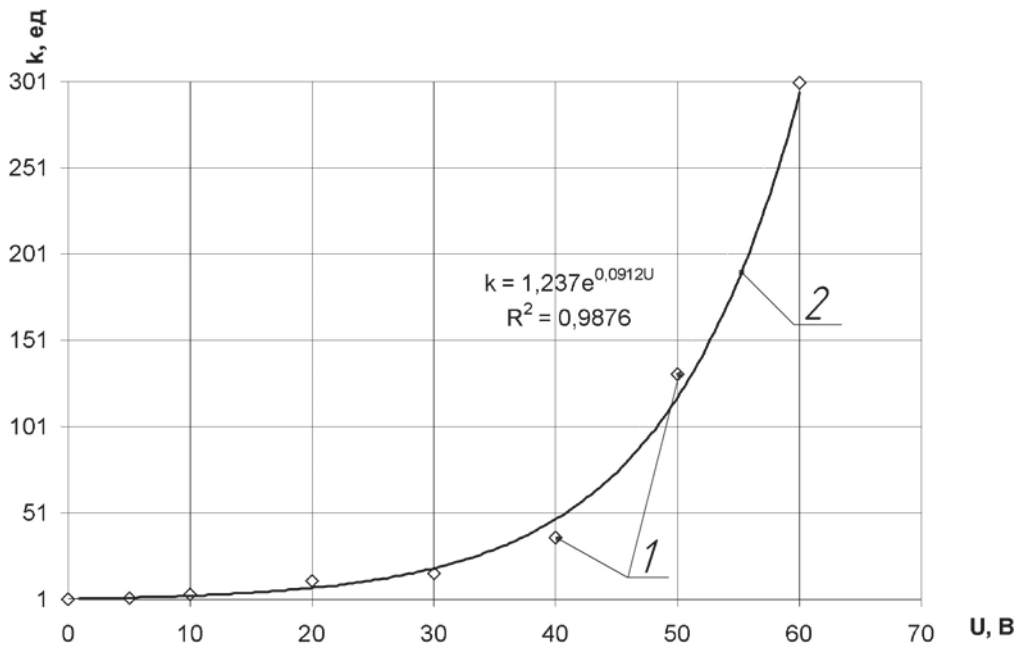


Рис. 3 - График зависимости коэффициента ускорения гидратации НРС  $k$ , ед от величины электрического напряжения  $U$ , В.  
1 – экспериментальные данные; 2 – корреляционная кривая.

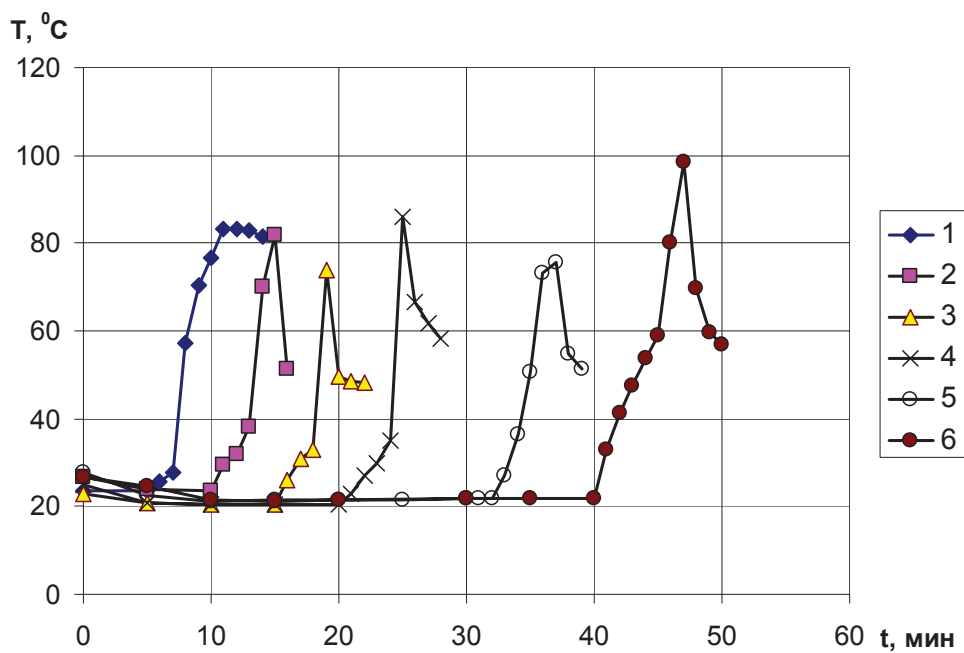


Рис. 4. Графики изменения температуры смеси во времени при воздействии на образец электричества с напряжением 30В через:  
1 – 5 мин, 2 – 10 мин; 3 – 15 мин; 4 – 20 мин, 5 – 30 мин; 6 – 40 мин после приготовления

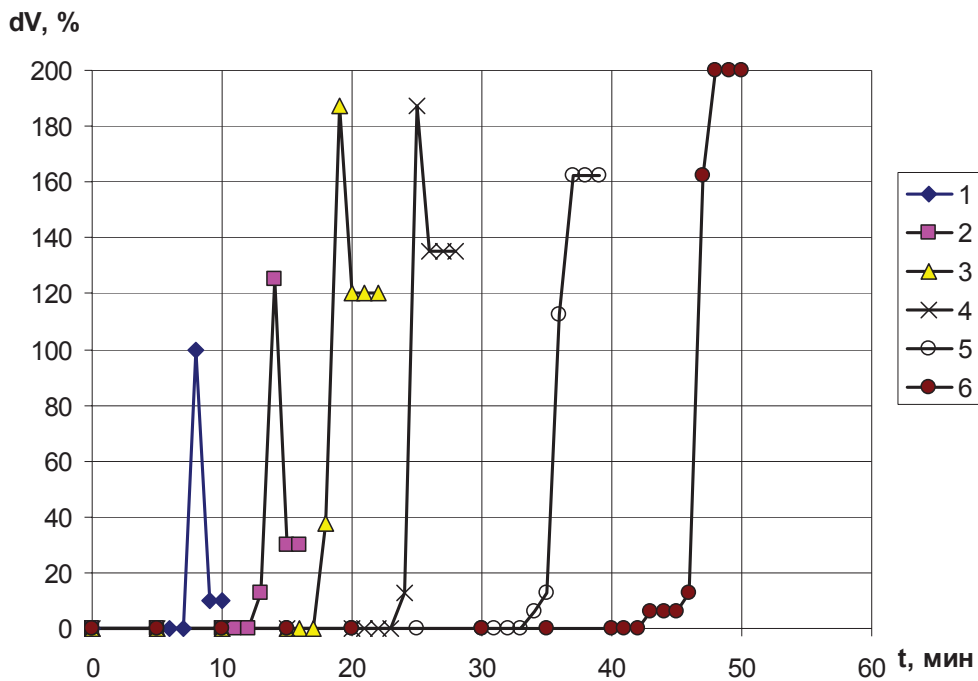


Рис. 5. Графіки зміни об'єму суміші в часі при впливі електричності з напругою 30В через:

1 – 5 мин, 2 – 10 мин; 3 – 15 мин; 4 – 20 мин, 5 – 30 мин;  
6 – 40 мин після її приготування.

Полученные результаты позволили установить, что увеличение интервала времени между приготовлением смеси и воздействием электричества приводит к изменению динамики роста температуры смеси, и фазового состояния продуктов расширения. Так при времени иницирования 5 минут происходит непродолжительный рост температуры в течение 2 минут, а при достижении температурой отметки  $30^{\circ}\text{C}$  наблюдается скачок, характеризующий переход на третью стадию гидратации смеси, и сопровождающийся выделением большого количества пара, что приводит к росту объема образца на 100%. После охлаждения и конденсации пара объем продуктов расширения уменьшается до объема твердой фазы и составляет 10%. В то время как при времени иницирования 40 минут, рост температуры до ее скачка происходит в течение 6 минут, при этом скачок наблюдается при достижении температурой отметки  $60^{\circ}\text{C}$ . Объем смеси после расширения увеличился на 200%, при этом пар не выделялся и объем остался постоянным после охлаждения образца.

Анализ графиков показывает, что увеличение времени иницирования ускорения реакции с помощью электричества приводит к увеличению доли твердой фазы продуктов расширения и росту коэффициента объемного расширения. График зависимости отношения объемного увеличения твердой фазы НРС  $dV_{\text{тв}}, \%$ , к общему объемному расширению смеси  $dV, \%$ , после воздействия электричества с напряжением 30В, от времени иницирования  $t, \text{ мин}$ , приведен на рисунке 6. При времени иницирования более 30 минут для напряжения 30В парогазовые продукты не выделяются. Соответственно, это время является минимально необходимым для избегания провоцирования произвольного выброса смеси. Рост доли твердой фазы при расширении смеси в диапазоне иницирования 0-30 минут происходит

по зависимости близкой к линейной, и может быть аппроксимирован с коэффициентом корреляции 0,95 зависимостью вида  $dV_{ТВ}/dV = 3,70t - 5,23$ . Уменьшение количества парогазовых выделений при увеличении времени иницирования объясняется переходом химически несвязанной воды в структурно связанное состояние в молекулах гидроксида кальция. При увеличении времени иницирования  $t$  наблюдается увеличение времени перехода на третью стадию гидратации НРС, характеризующуюся скачком роста температуры и объема смеси, после воздействия электричества.

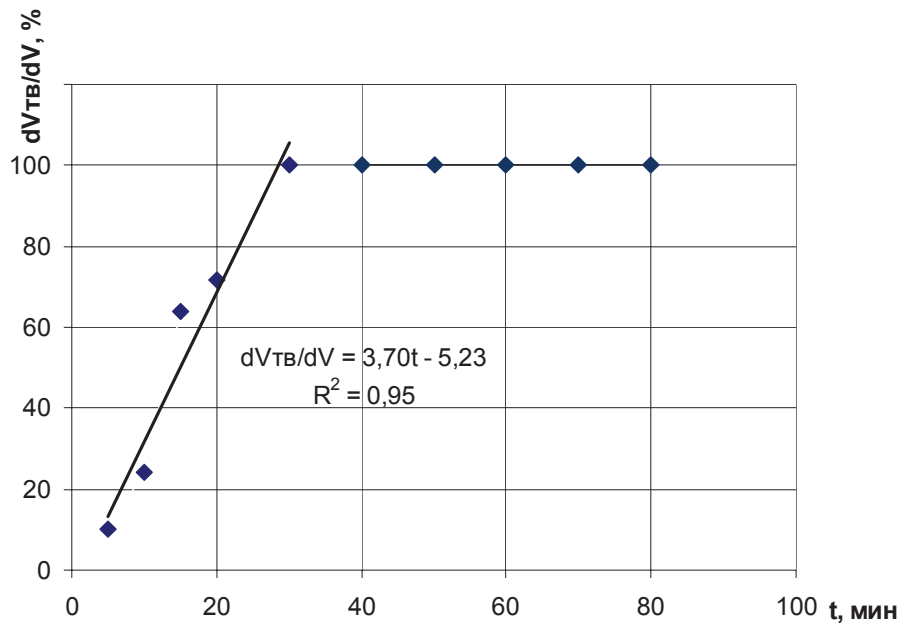


Рис. 6. График зависимости отношения объемного увеличения твердой фазы НРС к общему увеличению объема смеси  $dV_{ТВ}/dV$ , %, после воздействия электричества, от времени иницирования  $t$ , мин.

**Выводы.** Таким образом, проведенные исследования позволили выявить особенности работы НРС при воздействии электрического тока. Было установлено, что с помощью электричества можно иницировать интенсификацию работы НРС. Так при воздействии на образец НРС напряжения в диапазоне 5-60В, при расстоянии между электродами 6см, скорость реакции повышается до 300 раз. Получен коэффициент ускорения реакции, который хорошо аппроксимируется экспоненциальной зависимостью  $k_p = 1,237e^{0,0912U}$ . Исследовано влияние интервала времени между приготовлением смеси и воздействием электричества. Лабораторные эксперименты позволили установить, что рост времени иницирования приводит к изменению динамики роста температуры смеси и фазового состояния продуктов расширения. При этом увеличение времени иницирования ускорения реакции с помощью электричества приводит к увеличению доли твердой фазы продуктов расширения и росту коэффициента объемного расширения. Рост доли твердой фазы при расширении смеси в диапазоне иницирования 0-30 минут происходит по зависимости близкой к линейной и может быть аппроксимирован с коэффициентом корреляции 0,95 зависимостью вида  $dV_{ТВ}/dV = 3,70t - 5,23$ . А при времени иницирования более 30 минут газообразная фаза продуктов расширения не образуется.



Проведенные исследования позволили разработать и запатентовать способ разрушения горных пород [4].

### Список использованной литературы

1. Галкин В.В. Невзрывной способ разрушения строительных конструкций при реконструкции зданий / В.В.Галкин, А. Г. Потапов // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 1983. - № 6.- С. 21-22.
2. Заявка 57-119850, Япония, МКИ В 02 С 19/18, Е 04 С 23/08. Композиция для разрушения бетона, дорожного покрытия и т.п. / Нисихара Акио, Мива Мотому, Тада Сюити; Асахи дэнка коге к.к. № 56-5779 заявл. 16.01.81., опубл. 26.07.82.
3. Касьян Н.Н. Обоснование методов управления скоростью роста распорно-компрессионных характеристик невзрывчатых разрушающих веществ / Н.Н. Касьян, И.Г. Сахно, Я.О. Шуляк / Вісті Донецького гірничого інституту. – 2010. – №2. – С. 209-219.
4. Пат. вин. № 100780, МПК(2006.01) Е21С 37/18 Спосіб руйнування гірських порід / І.Г. Сахно, М.М. Касьян (Україна). – а2011 05599; заявл. 04.05.2011, опубл. 25.01.2013, бюл. № 2. – 4с.:ил.

*Надійшла до редакції 26.03.2013*

І.Г. Сахно  
Донецький національний технічний університет, Донецьк

#### ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ ГІДРАТАЦІЇ І ФАЗОВОГО СТАНУ СУМІШЕЙ, ЩО САМОРАСШИРЮЮТЬСЯ, ПРИ ВПЛИВІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

У статті наведені результати лабораторних досліджень зміни швидкості гідратації невибухових руйнівних сумішей на основі оксиду кальцію при дії на них електричного струму. Проведені дослідження впливу напруги на ініціацію інтенсифікації роботи сумішей. А також інтервалу часу між приготуванням суміші і дією електрики на швидкість гідратації і фазовий стан продуктів розширення суміші. Узагальнено результати декількох експериментальних циклів, що дозволило розробити спосіб руйнування гірських порід.

Ключові слова: невибухові руйнівні суміші, саморозширення, гідратація, електрика, напруга

I.G. Sahnо  
Donetsk National Technical University, Donetsk

#### LABORATORY RESEARCHES OF CHANGE SPEED OF HYDRATATION AND PHASE STATE OF SELF-BROADENING MIXTURES AT INFLUENCE OF ELECTRIC PAUL

The results of laboratory studies of changes in hydration rate depleting non-explosive mixtures based on calcium oxide when exposed to an electric current. Studied the effects of stress on the initiation of work intensification mixtures. As well as the time interval between the preparation of the mixture and the influence of electricity on the rate of hydration and the phase state of the products expansion mixture. The results of several experimental cycles, which allowed the development of a way to rock failure.

Keywords: inexplusive destroying matters, self-expansion, hydration, electricity, voltage

*Наукове видання*

**Вісті Донецького гірничого інституту  
Всеукраїнський науково-технічний журнал  
гірничого профілю**  
*(українською, російською мовами)*

**1(32)2013**

Відповідальний за випуск *С. В. Подкопаєв*

Редактор *А. В. Зиль*

Технічний редактор *Г. А. Федоренко*

Комп'ютерна верстка *А. В. Петренко*

Адреса видавця: Україна, 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, ДВНЗ «ДонНТУ»,  
9-й учбовий корпус. Тел.: (062) 301-09-67.

Підписано до друку 23.03.2013. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Папір офсетний. Друк різнографічний.  
Ум. друк. арк. 35.3. Обл. вид. арк. 18.3 Тираж 100 прим.

Видавець та виготовлювач:

ДВНЗ «ДонНТУ»

83000, м. Донецьк, вул. Артема, 58, 9-й учбовий корпус

Свідоцтво про державну реєстрацію:

серія ДК №2982 від 21.09.2007.