

УДК 622.831

И.Г. САХНО (канд. техн. наук)

Донецкий национальный технический университет

А.А. ИСАЕНКОВ (ст. преподаватель)

Красноармейский индустриальный институт

РАЗРАБОТКА НЕВЗРЫВЧАТОЙ РАЗРУШАЮЩЕЙ СМЕСИ ДЛЯ КОНСОЛИДАЦИИ РАЗРУШЕННЫХ ПОРОД

В статье определена актуальность разработки средств консолидации разрушенных пород путем их сжатия. Приведены результаты лабораторных исследований термокинетических, силовых и прочностных характеристик НРС с модифицирующими добавками. Проведен анализ результатов исследований и сравнение с базовой смесью. В результате рекомендована смесь на основе НРВ-80 с введением пластификатора Sika BV 3M взамен соответствующей массовой доли воды. Предложенная НРС обеспечивает прирост давления расширения и имеет повышенное сопротивление разрушению в послегидратационный период.

Ключевые слова: невзрывчатые разрушающие смеси, саморасширение, гидратация, компонентный состав.

Сегодня невзрывчатые разрушающие смеси (НРС) применяются в основном в строительстве при ликвидации несущих элементов, конструкций и фундаментов зданий, сооружений, промышленных и жилых объектов в условиях, когда применение ВВ невозможно или запрещено требованиями безопасности.

Разработкой невзрывных композиций и смесей занимались ученые Германии, Великобритании, США, Канады и др. В настоящее время существует более 100 различных НРС. Украинская промышленность выпускает НРВ-80 [1].

Несмотря на разницу в химическом составе и способах приготовления, в качестве основного реагента НРС применяется оксид кальция. Поэтому базовый механизм работы смесей с различной рецептурой остается неизменным. Он основан на эффекте увеличения объема продуктов реакции оксида кальция с водой. Таким образом, при помещении затворенной смеси НРС в частично или полностью закрытую полость (например, шпур), в процессе гидратации оксида кальция на стенки полости, растет давление за счет саморасширения НРС. Максимальное давление саморасширения составляет от 30 до 80 МПа. Время полной реакции гидратации известных НРС находится в диапазоне 12-48 часов.

В работе [2] предложен способ обеспечения устойчивости почвы горных выработок при повторном нарушении равновесного состояния за счет создания локально укрепленных зон. Формирование последних обеспечивается путем увеличения сил трения между породными отдельностями, что достигается их силовым распором. Таким образом, невзрывчатые разрушающие смеси рассматриваются не традиционно, а как средство укрепления и консолидации пород.

Проведенные исследования [3] позволили установить зависимость давления саморасширения НРВ-80 от допустимых объемных деформаций, определяемых свойствами массива и динамику роста давления во времени.

Однако при этом не учитывался тот факт, что при использовании НРС, как средства консолидации, после распора пород он представляет собой твердое тело и в случае разрушения теряет свои свойства и не оказывает давления на стенки шпура. Поэтому важно чтобы затвердевший в шпуре НРС не разрушался под действием напряжений, возникающих впоследствии в массиве. Это выдвигает дополнительные требования к рецептуре состава: повышение прочности в послегидратационный период. Поиск рецептуры и исследование свойств такого состава и является задачей исследований, приведенных в статье.

Были проведены лабораторные работы, направленные на поиск химических добавок, позволяющих максимально упрочнить НРС в послегидратационный период, при этом, особо не замедлив скорость гидратации и не ухудшив давление саморасширения.

Оценку скорости реакции гидратации смесей проводили двумя способами. На этапе поисковых исследований состава скорость реакции оценивали по времени начала роста объемных

деформаций смесей. На этапе изучения свойств выбранной смеси скорость реакции гидратации отслеживали по изменению температуры НРС.

Основной характеристикой НРС, определяющей целесообразность его применения, является величина давления, развиваемого за счет саморасширения. Для его измерения применялась методика, изложенная в работах [4, 5].

Измерение прочности НРС на послегидратационной стадии определяли путем испытаний затвердевших в условиях ограниченных перемещений образцов на прессе. При этом в процессе поисковых исследований испытания образцов проводили на механическом прессе ЗИМ-5Р по стандартной методике, а прочность образцов из выбранной смеси исследовали на установке на УНТС [6].

В качестве базового состава был выбран НРВ-80, выпускаемый промышленностью Украины. К нему добавляли: хлорид алюминия, сахарозу, гидрокарбонат натрия, спирт, аммиак, перекись водорода, йод и два пластификатора ЛСТМ и Sika BV 3М.

В первых экспериментах добавка составляла 5 мас. %, что позволило отследить ее общее влияние. На рисунке 1 приведена диаграмма, отображающая скорость гидратации смесей НРС с различными добавками.

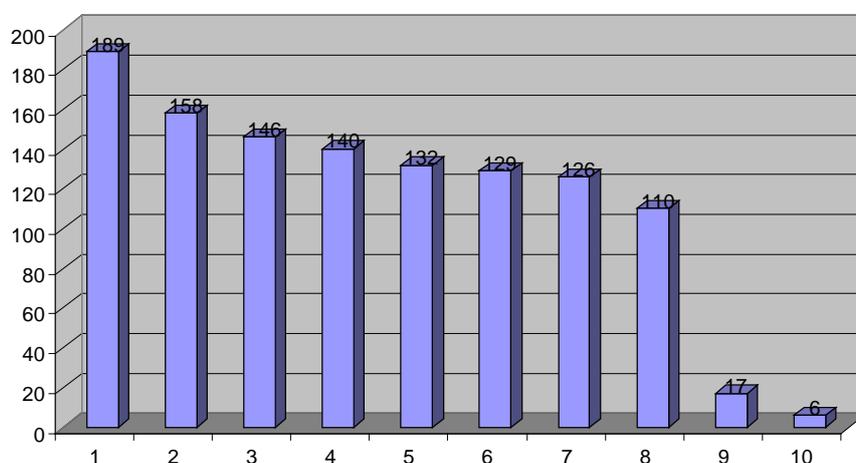


Рис. 1. Диаграмма зависимости времени начала объемных деформаций НРС от 5 мас. % добавок: 1 - перекиси водорода, 2 – C_2H_5OH , 3 – Sika BV 3М, 4 – аммиака, 5 – ЛСТМ (лигносульфонат технический модифицированный); 6 – без добавок, 7 – йода, 8 - $NaHCO_3$, 9 – сахарозы, 10 – $AlCl_3$.

Параллельно проведенные эксперименты по определению давления саморасширения показали, что при добавлении 5 мас.% перекиси водорода, давление саморасширения через 24 часа снижается на 32% относительно чистого НРС. При добавлении 5 мас.% C_2H_5OH , аммиака, йода давление саморасширения снижается на 5-7%, то есть пропорционально массовой доле добавки. Введение в раствор $NaHCO_3$ в количестве 5 мас.% практически не влияет на максимальную величину давления саморасширения, хотя и приводит к изменению динамики роста давления. Остальные добавки приводят к повышению давления саморасширения. Максимальное повышение давления наблюдается при введении сахарозы. Таким образом, на этапе поисковых исследований, для дальнейшего детального анализа, были отобраны Sika BV 3М, ЛСТМ, $AlCl_3$, сахароза.

Исследование скорости реакции смесей НРС в воде с температурой 20-23 °С проводили с изменением массовой доли добавки. Поскольку сопротивление расширению состава не оказывалось, образование новых поверхностей при перекристаллизации оксида кальция происходило без дополнительных потерь энергии, рост объема происходил более интенсивно, чем в шпуровом заряде, и скачкообразно. На рис. 2 приведены графики роста температуры смеси в воде при добавлении сахарозы.

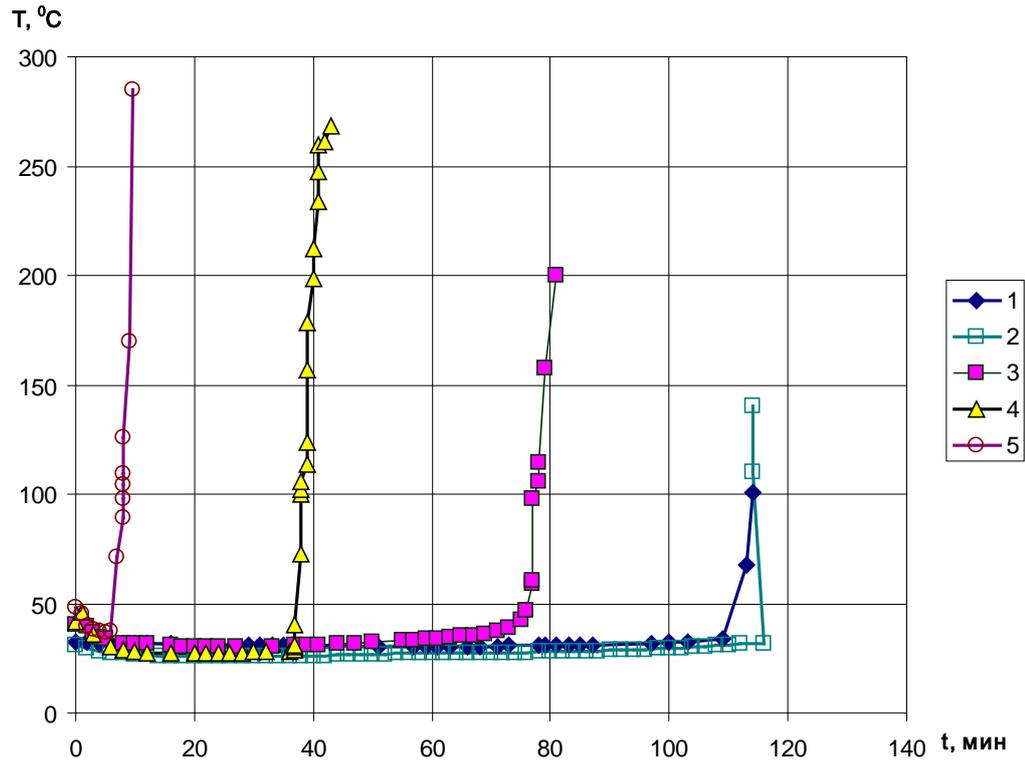


Рис. 2. Графіки росту температури суміші НПС в воді з температурой 23⁰С при додаванні сахарози в мас. %: 1 – 0, 2 – 1,9%, 3 – 3,8%, 4 – 4,6%, 5 – 5,7%.

Додавання пластифікаторів в відповідних експериментах проводили з заміщенням доли води, для спостереження водотвердого відношення. Після обробки результатів експеримента отримали графіки, що характеризують швидкість гідратації НПС з різним вмістом пластифікаторів, для Sika BV 3М рис. 3.

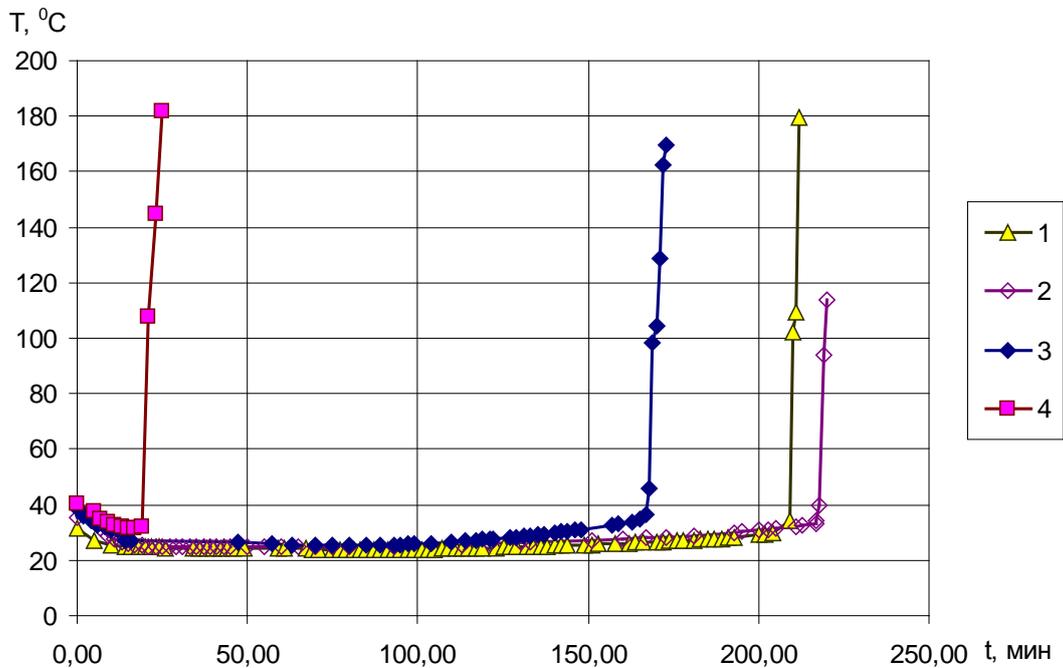


Рис. 3. Графіки росту температури НПС в воді з температурой 23⁰С при заміщенні масової частки води в сумішшю пластифікатором Sika BV 3М: 1 – 0; 2 – 20%; 3 – 40%; 4 – 60%.

Анализ результатов позволил сделать вывод, что добавление сахарозы и хлорида алюминия приводит к резкому повышению скорости гидратации. Это объясняется тем, что указанные вещества являются катализаторами реакции. При этом добавление сахарозы повышает не только скорость реакции, но и максимальную температуру смеси, которая достигает 270°C при добавлении 5,7 мас.%. При добавлении хлорида алюминия более 1% происходит настолько резкий рост температуры смеси, что саморасширение происходит в процессе приготовления. Подобный эффект наблюдается и при добавлении сахарозы более 5,7%. При замещении воды пластификатором ЛСТМ на 20% происходит повышение скорости гидратации на 14%, а при замещении воды более 40% происходит повышение скорости гидратации состава НРС в свободном состоянии на 25-27%. Введение в раствор взамен воды пластификатора Sika BV 3M, в количестве до 20%, приводит к незначительному снижению скорости гидратации, а дальнейшее повышение его содержания приводит к росту скорости гидратации. Так при 40% пластификатора Sika BV 3M взамен воды в условиях эксперимента время начала активной гидратации сокращается на 25% относительно исходной смеси, дальнейшее повышение содержания Sika BV 3M приводит к более резкому повышению скорости гидратации.

После этого были проведены эксперименты по определению развиваемого усилия расширения НРС в режиме заданной жесткости. Результаты испытаний приведены на рисунках 4, 5.

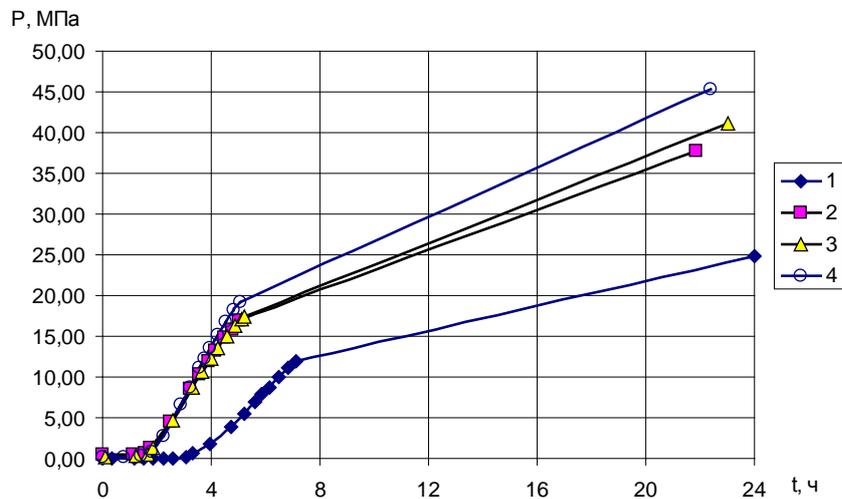


Рис. 4. Графики роста давления саморасширения НРС во времени с добавлением сахарозы мас.%.: 1 – 0; 2 – 2,3%, 3 – 3,5%, 4 – 5,9%.

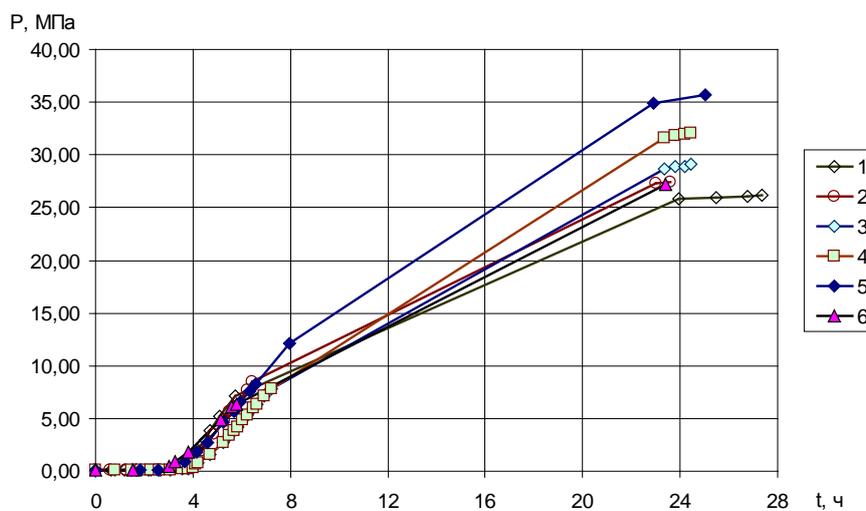


Рис. 5. Графики роста давления саморасширения НРС во времени при замещении массовой доли воды в смеси пластификатором Sika BV 3M
1 – 0; 2 – 10%, 3 – 20%, 4 – 30%, 5 – 40%, 6 – 50%.

Анализ результатов позволяет сделать выводы, что добавление сахарозы приводит к значительному повышению давления саморасширения. Так введение в смесь 2,3; 3,5; 5,9 мас.% указанной добавки приводит к повышению конечного давления саморасширения на 50, 64, 81% соответственно. В то время как давление в первые 6 часов практически не зависит от величины добавки и в 3,1-3,4 раза выше давления чистого состава. Таким образом, особенно эффективно введение сахарозы для максимально быстрого достижения необходимого давления. Введение в смесь раствора хлорида алюминия приводит к ускорению роста давления расширения, однако не вызывает существенного роста конечного давления. Так максимальный прирост конечного давления составляет 11% при введении 0,375% хлорида алюминия. Дальнейшее повышение содержания хлорида алюминия приводит к снижению давления расширения.

Замещение массовой доли воды в смеси пластификатором ЛСТМ до 30% приводит к росту давления саморасширения на 8%, дальнейшее повышения доли пластификатора приводит к снижению максимального давления саморасширения. Соответственно не является эффективным. Замещение массовой доли воды Sika BV 3М до 40 мас.% приводит к повышению усилия расширения. Наибольший эффект достигается при содержании пластификатора 8 мас.%. Так, при замещении Sika BV 3М 40 мас.% воды развиваемое усилие распора НРС в возрасте 24 часа повышается на 37%. Дальнейшее повышение содержания пластификатора приводит к снижению усилия расширения. Характерно, что в возрасте 6 часов усилие расширения, развиваемое составом НРС, практически не зависит от добавления пластификатора.

Таким образом, наилучшие результаты по скорости гидратации и давлению саморасширения показывает добавление сахарозы. Так максимальное давление саморасширения, полученное в результате экспериментов с добавлением 5,9% сахарозы на 80% больше, чем у чистого состава и составляет 45МПа. Однако при введении в раствор этой добавки наблюдается существенное повышение температуры смеси. Так в экспериментах температура достигала 270 градусов. Кроме этого при незначительном несоблюдении пропорции (повышении массовой доли сахарозы) активная стадия гидратации начинается в процессе замешивания, что не позволяет приготовить смесь и произвести зарядку шпуров. Поскольку реакция гидратации является экзотермической, указанный эффект усугубляется при температуре окружающей среды более 25 градусов, а при температуре 35-40 градусов управление скоростью гидратации при добавлении сахарозы невозможно. На практике это приводит к самопроизвольному выбросу смесей из шпура. Температура атмосферы и горных пород для шахт Донбасса часто достигает указанных величин. Поэтому, несмотря на полученные значительные величины давления саморасширения, смеси с добавлением сахарозы для решения поставленной задачи не подходят. Областью их применения могут стать открытые и подземные горные работы со стабильным температурным режимом ниже 25 градусов, а решаемые задачи – разрушение горных пород. В полной мере сказанное относится и к смесям с добавлением хлорида алюминия.

Наибольший интерес в свете задачи консолидации пород представляют собой смеси с содержанием пластификаторов.

Исследование прочности смесей в послегидратационный период на механическом прессе показало, что образец 70x70x70 мм из чистого НРС выдерживает одноосную нагрузку 2750 кг, при замещении 25% воды пластификатором ЛСТМ – 2830кг, а при замещении 25% воды пластификатором Sika BV 3М – 2890кг. При этом максимальная усадка наблюдалась у образца с добавлением Sika BV 3М.

Исследования на механическом прессе не позволяют провести точные измерения из-за наличия ряда погрешностей и неточностей в процессе приготовления образцов и их испытаний. Поэтому дальнейшие испытания образцов провели на установке УНТС. Для этих исследований были выбраны составы из чистого НРС и с добавлением пластификатора Sika BV 3М, при замещении им воды на 40%. Выбор этого пластификатора объясняется лучшими показателями по всем предыдущим экспериментам. Давление саморасширения смесей с добавлением Sika BV 3М в возрасте 24 часа приведено на рисунке 6.

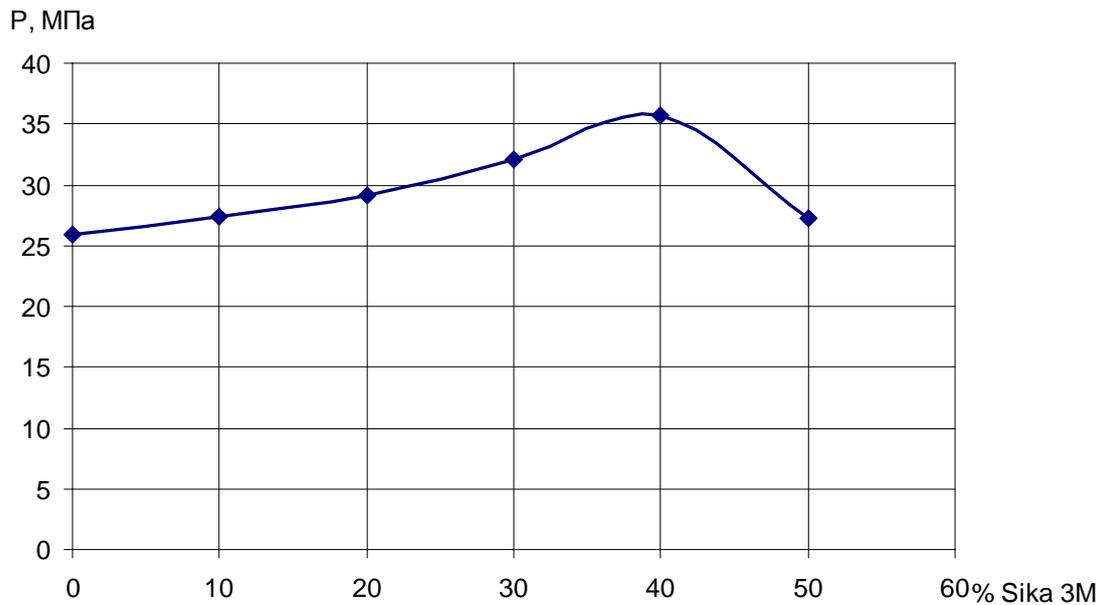


Рис. 6. Графики зависимости давления саморасширения НРС в рабочей камере пресса через 24 часа от доли замещения воды в смеси пластификатором Sika BV 3M.

Образцы для испытаний на УНТС представляли собой пластифицированный НРС. Образец помещали в испытательную камеру с задвинутыми горизонтальными плитами и с помощью верхней плиты пресса поджимали образец до закрытия камеры, после чего в течение 24 часов образец находился в камере с ограничением смещений нажимных плит. После этого проводили испытания образцов на одноосное сжатие. Для чего разгружали горизонтальные плиты и начинали повышать давление в вертикальной плоскости. Результаты экспериментов приведены на рисунке 7.

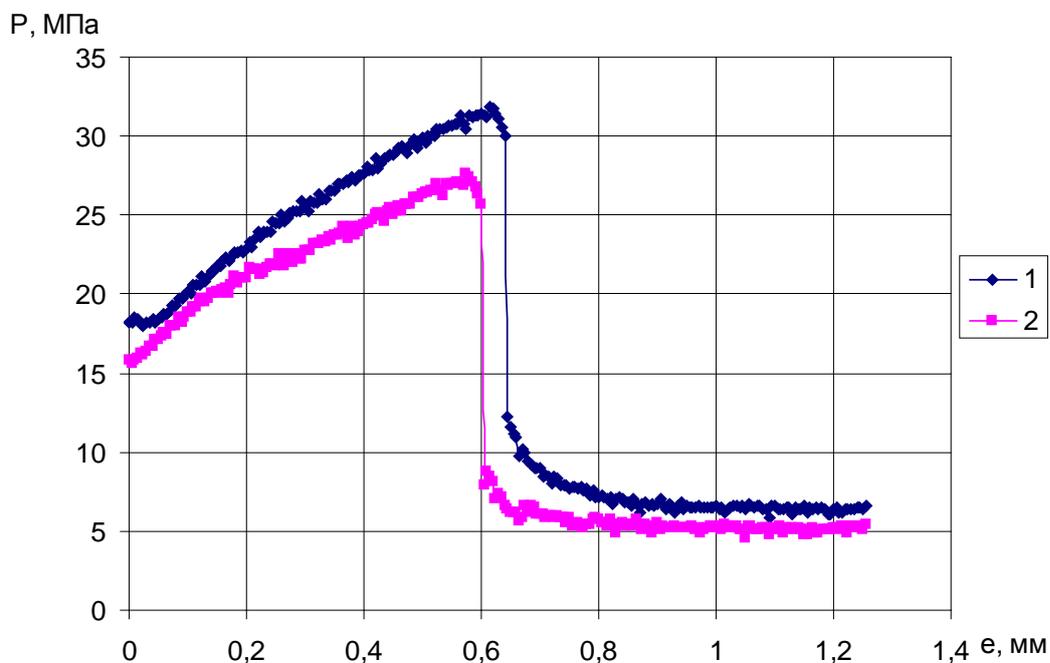


Рис. 7. Диаграммы деформирования образцов НРС в возрасте 24 часа: 1 – при замещении массовой доли воды в смеси пластификатором Sika BV 3M на 40%; 2 – чистый НРС.

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что введение пластификатора Sika BV 3M приводит к повышению прочности НРС в послегидратационный период. Так при замещении воды на 40% прочность на одноосное сжатие повышается на 15,6%. Указанный эффект достигается, вероятно, за счет более компактной укладки смеси при введении пластификатора, что подтверждается усадкой раствора и характеризует повышение ее плотности.

Таким образом, проведенные комплексные лабораторные исследования показывают, что для решения поставленной задачи в качестве добавки наиболее подходит пластификатор на базе лигносульфонатов редуцирующий количество воды Sika BV 3M. Он обеспечивает прирост давления расширения и имеет повышенное сопротивление разрушению в послегидратационный период.

Бібліографічний список

1. Невибухова руйнуюча речовина: ТУ У В.2.7-26.5-24478901-004:2007. – [На заміну ТУ У БВ 2.7.00030937.089397]. Без обмеження терміну дії. – Х.: Госстандарт. Харьк. центр стандартизації і аерології, 2007. – 14 с.
2. Исаенков А.А. Лабораторные исследования механизма передачи нагрузки через зону разрушенных пород в почве выработки при повторном нарушении равновесного состояния / А.А. Исаенков, Ю.А. Петренко, И.Г. Сахно // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2013. – №2. – С. 263–269.
3. Сахно И.Г. Лабораторные исследования особенностей работы невзрывчатых разрушающих веществ при фиксированном сопротивлении их объемному расширению / И.Г. Сахно // Проблеми гірського тиску. – 2010. – №18. – С. 132-146.
4. Сахно И.Г. Лабораторные исследования особенностей работы невзрывчатых разрушающих веществ при фиксированном сопротивлении их объемному расширению / И.Г. Сахно // Проблеми гірського тиску. – 2010. – №18. – С. 135-149.
5. Сахно И.Г. Лабораторные исследования особенностей работы невзрывчатых разрушающих составов в условиях их предварительного сжатия / И.Г. Сахно // Проблеми гірського тиску. – 2011. – №19. – С. 109-123.
6. 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 19.11.2014

І.Г. Сахно

Донецький національний технічний університет

О.О. Исаенков

Красноармійський індустріальний інститут

РОЗРОБКА НЕВИБУХОВИХ РУЙНУЮЧИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ КОНСОЛІДАЦІЇ ЗРУЙНОВАНИХ ПОРІД

У статті визначено актуальність розробки засобів консолідації зруйнованих порід шляхом їх стиснення. Наведено результати лабораторних досліджень термодинамічних, силових і міцнісних властивостей НРС з модифікуючими добавками. Проведено аналіз результатів досліджень і порівняння з базовою сумішшю. В результаті рекомендовано суміш на основі НРР-80 з введенням пластифікатора Sika BV 3M замість відповідної масової частки води. Запропонована НРС забезпечує приріст тиску розширення і має підвищений опір руйнуванню в післягідратаційний період.

Ключові слова: невибухові руйнівні суміші, саморозширення, гідратація, компонентний склад.

I.G. Sakhno

Donetsk National Technical University

A.A. Isaenkov

Krasnoarmiysk Industrial Institute

NON-EXPLOSIVE DESTROYING COMPOSITIONS FOR CONSOLIDATION OF BROKEN ROCKS

The paper considers the ways of broken rocks consolidation by compression. The results of laboratory studies of thermokinetic, power and strength characteristics of IDCs builders are presented. The results of the research are analyzed in comparison with the basic mixture. As a result an IDM80 based mixture with plasticizer Sika BV 3M is recommended instead of the corresponding mass fraction of water. The proposed IDC provides growth of expansion pressure and has increased fracture resistance in after-hydratation period.

Keywords: non-explosive destroying compositions, self-expansion, hydratation, component composition.