

УДК 622.831

И.Г. Сахно (канд. техн. наук)

Донецкий национальный технический университет, Донецк

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ДАВЛЕНИЯ ОТ ЗАРЯДА НЕВЗРЫВЧАТОГО РАЗРУШАЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА В ДИСКРЕТНОЙ СРЕДЕ

В статье приведены результаты лабораторных исследований явления передачи давления от саморасширения невзрывчатого разрушающего вещества, помещенного в шпур, вглубь массива представленного дискретной средой.

Ключевые слова: укрепление пород, невзрывчатые разрушающие вещества, саморасширение, дискретная среда.

Изменение характера и интенсивности деформационных процессов в окружающих выработку породах, на больших глубинах стало причиной того, что многие известные способы поддержания, технологические и технические решения исчерпали свои возможности в части обеспечения устойчивости выработок.

С современных позиций смещения в горной выработке связывают с развитием вокруг нее зон упругих, неупругих деформаций (ЗНД) и зоны разрушенных пород (ЗРП). Размер ЗРП на современных глубинах, при смещениях контура выработки – 500 мм и более, достигает 7-8 м и более [1]. При этом в зависимости от степени нарушенности пород в пределах ЗРП, они с определенной степенью точности могут быть представлены блочно-структурированной или дискретной средой. Нагружение крепи выработки, в такой ситуации, происходит за счет увеличения пород в объеме при их разрушении на границе ЗРП и в ее пределах при нарушении сложившегося равновесного состояния, например, при попадании выработки в зону опорного давления, ее подработке надрботке и др.

Обеспечение устойчивости выработки в таких условиях за счет повышения несущей способности крепи и увеличения ее плотности в современных условиях практически не имеет перспективы. Более перспективным представляется направленное изменение режима работы горных пород вокруг выработок.

Для сохранения устойчивости выработок в условиях ЗРП был предложен способ укрепления пород, основанный на распоре разрушенных пород при помощи невзрывчатых разрушающих веществ (НРВ) [2, 3]. Основная идея способа заключается в создании в пределах ЗРП, вокруг горной выработки, сжатой области выполняющей роль дополнительной крепи, сдерживающей передачу давления от фронта ЗРП к контуру выработки. Основным параметром предлагаемого способа обеспечения устойчивости выработок является расстояние между шпурами с НРВ. Для определения этого параметра необходимо знать закономерности передачи нагрузки от фронта области расширения вглубь массива, что позволит определить зону влияния одного шпура.

Поэтому в данной статье ставилась задача изучения механизма передачи давления от заряда НРВ через дискретный материал.

Решение поставленной задачи в лабораторных условиях проводилось методом физического моделирования на структурных моделях. Моделировался участок массива пород, вмещающий заряд НРВ. Задача решалась в плоской постановке, в силу ее осесимметричности моделировалась только половина сечения нормально продольной оси шпура.

Для моделирования был изготовлен специальный стенд, представляющий собой деревянное основание (1) на которое жестко крепились боковая стенка в ви-

де полукруга (2), выполненная из металлической полосы, и прямолинейная боковая стенка (3) из деревянного бруса. В центре условной окружности располагалась рабочая камера №1 (4), которая имитировала шпур с НРВ. По контуру полукруглой боковой стенки располагалась рабочая камера №2 (5) – предназначенная для определения давлений на расстоянии равном радиусу полукруга боковой стенки. Область внутри модели между рабочими камерами заполняли дискретными элементами (6) в качестве которых применяли пластиковые пустотелые шарики диаметром 5см, стеклянные шарики диаметром 2см, горох со средним диаметром 0,6см и керамзит со средним размером 1,6см. Для удобства контроля смещений дискретных элементов некоторые из них, согласно плану эксперимента, были маркированы с помощью окрашивания. Сверху модель закрывалась пластиной из оргстекла. Принципиальная схема модели представлена на рисунке 1.

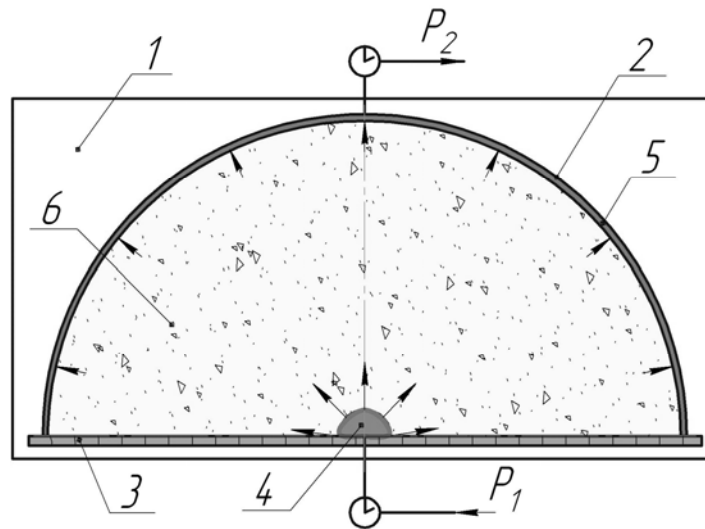


Рис. 1. Принципиальная схема модели

Перед экспериментом дискретные элементы укладывали в модель и накрывали ее оргстеклом. После этого давление в рабочей камере №1 пошагово повышали, что приводило к сжатию дискретных элементов и передаче давления, которое фиксировалось рабочей камерой №2, на контур боковой стенки.

В качестве рабочего агента использовали воду. Давление в камере №1 повышали путем увеличения высоты водяного столба в системе соединенной с камерой №1, а фиксацию давления в рабочей камере №2 производили по высоте водяного столба в системе соединенной с этой камерой. После достижения предельного давления в камере №1, производилась пошаговая разгрузка модели, с контролем показаний давлений в обеих камерах. Фиксация производилась с помощью цифровой видеосъемки модели в плане и данных обеих шкал.

Было проведено несколько серий опытов, которые отличались между собой диаметром боковой полукруглой стенки и видом дискретного материала. Диаметр наружной полуокружности, по контуру которой располагалась рабочая камера №2, в разных экспериментах изменялся от 0,25 до 0,5 м. Диаметр внутренней полуокружности (камеры №1) на начало эксперимента составлял 0,055-0,070 м. Таким образом, была получена картина передачи давления через дискретную среду в обоих направлениях.

Общий вид моделей, при радиусе полукруга боковой стенки 37,5см и заполнении модели керамзитом на моменты начала, и конца эксперимента приведен на рис. 2-3.

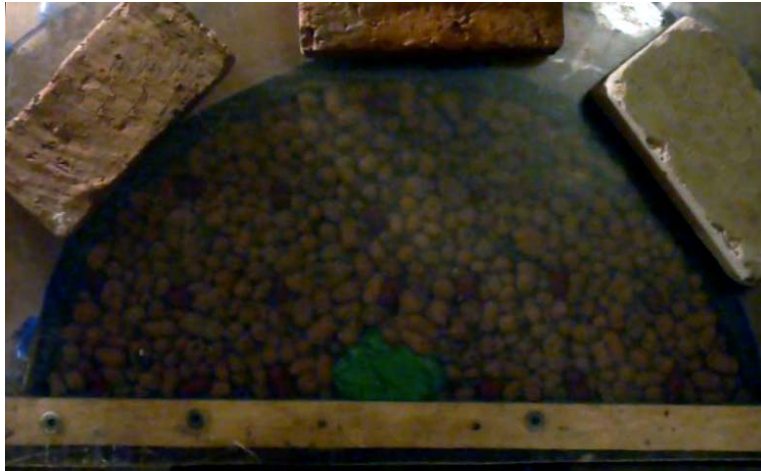


Рис. 2. Общий вид модели до приложения нагрузки



Рис. 3. Общий вид модели после приложения нагрузки

На основании полученных результатов исследований были построены графики зависимости давления, возникающего на наружном контуре разрушенных пород, от давления саморасширения во внутреннем контуре. Для примера приведем графики передачи давления от рабочей камеры №1 к камере №2, расположенной у боковой полукруглой стенки диаметром 50см через стеклянные шарики (рис. 4).

Нижняя ветвь графиков описывает поведение материала в модели при ее нагружении, верхняя – при разгрузке. Следует отметить, что передача давления на внешний контур зоны влияния заряда при нагрузке происходит не линейно, а по зависимости близкой к квадратичной, это можно объяснить последовательным уплотнением и переупаковкой дискретного материала в направлении от зоны ближней к заряду НРВ вглубь массива. При этом коэффициент передачи давления повышается при увеличении абсолютного значения нагрузки на внутреннем контуре. Также обращает на себя внимание тот факт, что ветвь нагружения не однородно линейная, а представляет собой ломаную с участками как резкого повышения так и спада коэффициента передачи давления, что объясняется заклиниванием и локальной консолидацией дискретных элементов при приложении и снятии нагрузки, образованием и разрушением макро- и микросводов.

Характерно, что при разгрузке передача давления от контура зоны влияния к заряду НРВ происходит не по пути нагружения, а более полого. Кроме того, после полного снятия давления на внутреннем контуре, давление на внешнем контуре может оставаться, а величина остаточного давления зависит от вида дискретного материала. Так для пластиковых шаров давление на внешней стороне практически равно нулю, а, например, для керамзита, менее идеальной среды, вообще практически не снижается.

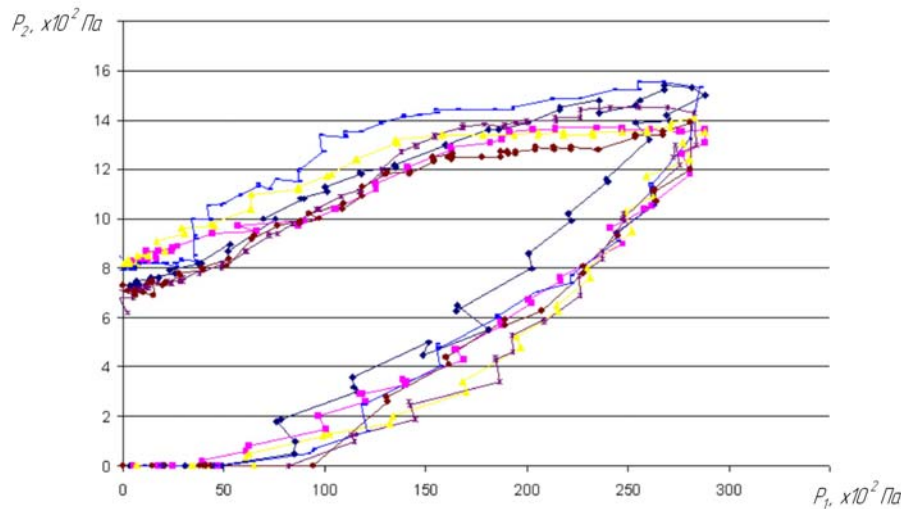


Рис. 4. Графики передачи давления от рабочей камеры №1 к камере №2, расположенной у боковой полукруглой стенки диаметром 50см через стеклянные шарики при нагружении и разгрузке модели

Объяснить это можно тем, что при нагружении происходит переупаковка дискретных элементов и система переходит из безраспорной сыпучей среды в состояние распорной среды. Изменяется пространственная ориентация дискретных элементов и количество контактов между ними. При этом система аккумулирует кинетическую энергию дезинтегрированного массива, и обеспечивает самоподдержание элементов. Эта особенность может быть использована при обосновании параметров и методики расчета способа упрочнения породного массива при высокой степени дробления пород в пределах ЗРП, основанного на создании их активного распора. Полученные результаты достаточно хорошо согласуются с проведенными ранее исследованиями [4].

Обработка цифрового видеоматериала позволила получить координаты маркированных дискретных элементов на всех этапах нагружения и разгрузки модели, а также абсолютное время для каждого этапа. Их анализ позволил получить пути перемещения дискретных элементов. Общий график смещений маркированных элементов и детальная картина поэтапного смещения каждого из них для случая нагружения и разгрузки модели со стеклянными шарами при радиусе внешнего контура 50см приведены на рис. 5, 6.

Анализ графиков позволил сделать вывод, что вектора абсолютных смещений дискретных элементов достаточно близко совпадают с лучами проведенными из центра модели. Однако при этом поэтапное перемещение дискретных элементов, особенно на первом этапе, когда происходит переупаковка и сжатие элементов, носит случайный, иногда возвратно-поступательный, характер. Пути перемещения элементов при нагружении и разгрузке модели разные, кроме того пути пе-

ремещения маркированных дискретных элементов для разных серий моделей не совпадают. Полученный результат также можно объяснить случайным характером взаимоперемещений, взаимным заклиниванием и локальной консолидацией дискретных элементов при приложении и снятии нагрузки.

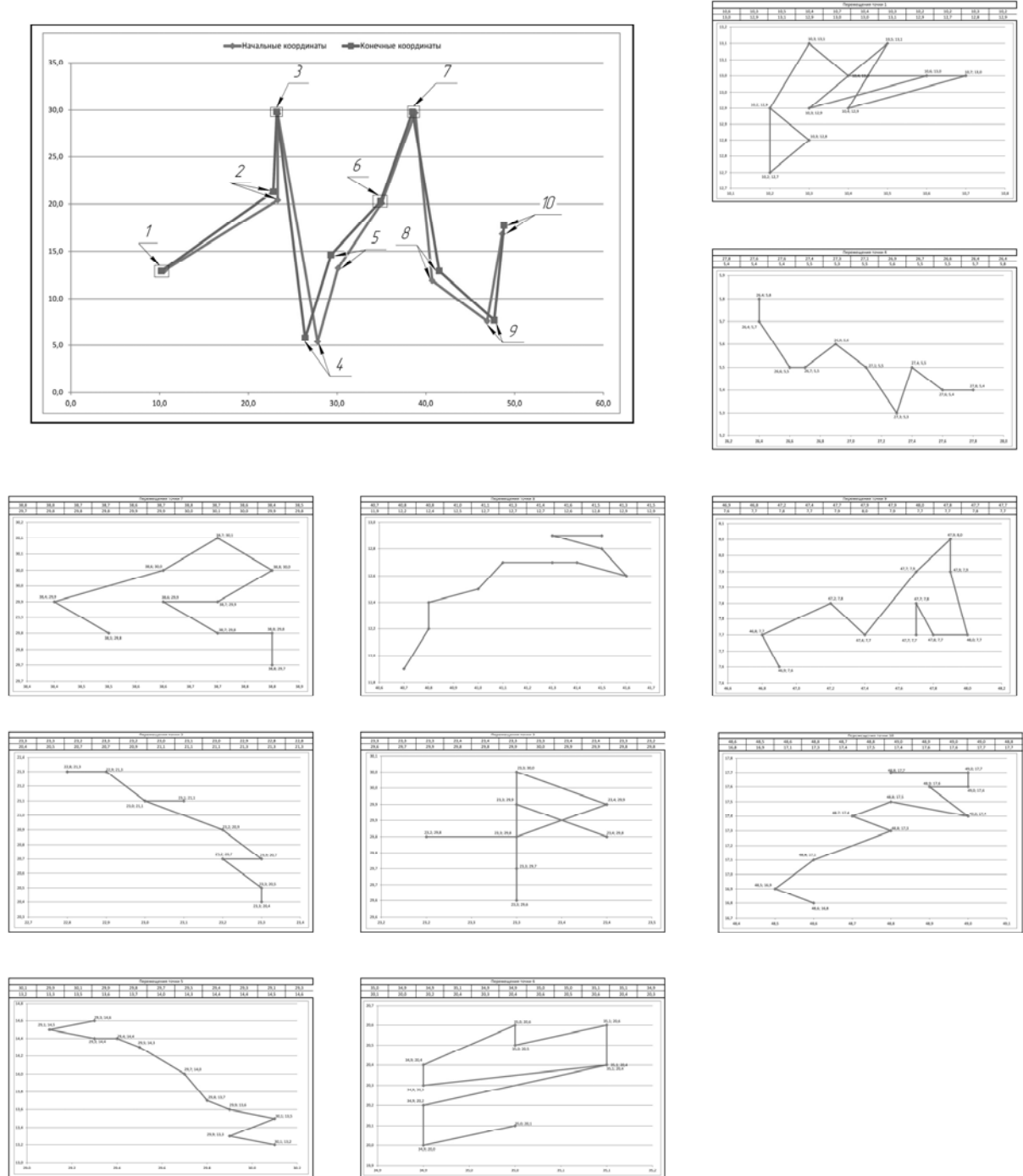


Рис. 5. Общий график смещений маркированных элементов и графики поэтапного смещения каждого из них для случая нагружения модели со стеклянными шарами при радиусе внешнего контура 50 см

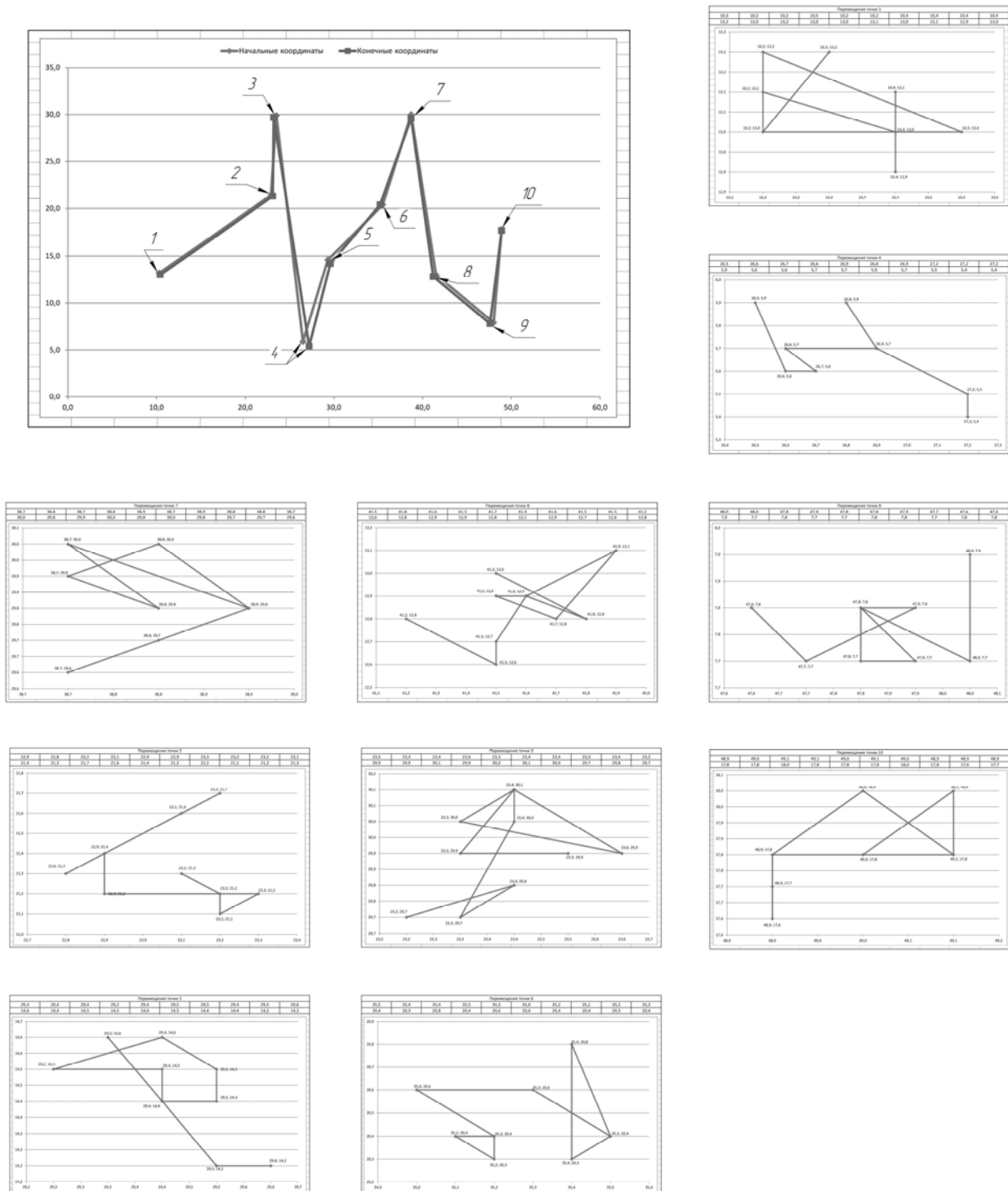


Рис. 6. Общий график смещений маркированных элементов и графики поэтапного смещения каждого из них для случая разгрузки модели со стеклянными шарами при радиусе внешнего контура 50 см

Необходимо понимать, что передача давления через дискретный массив происходит не мгновенно, и зависит от скорости нагружения. Чем быстрее прикладывается давление на внутреннем контуре, тем больше происходит переупаковка и сжатие материала в ближней к заряду НРВ области, так как дискретные элемен-

ты не успевают последовательно переместиться в новое положение. Поскольку при распоре пород с помощью НРВ рост давления происходит достаточно медленно, режим нагружения моделей был выбран соответственным. Каждый последующий этап наружения начинали после прекращения сдвижений дискретных элементов на предыдущем этапе. Графики характеризующие передачу давления через дискретный материал в реальном времени для случая нагружения и разгрузки модели со стеклянными шарами при радиусе внешнего контура 50см представлены на рис. 7.

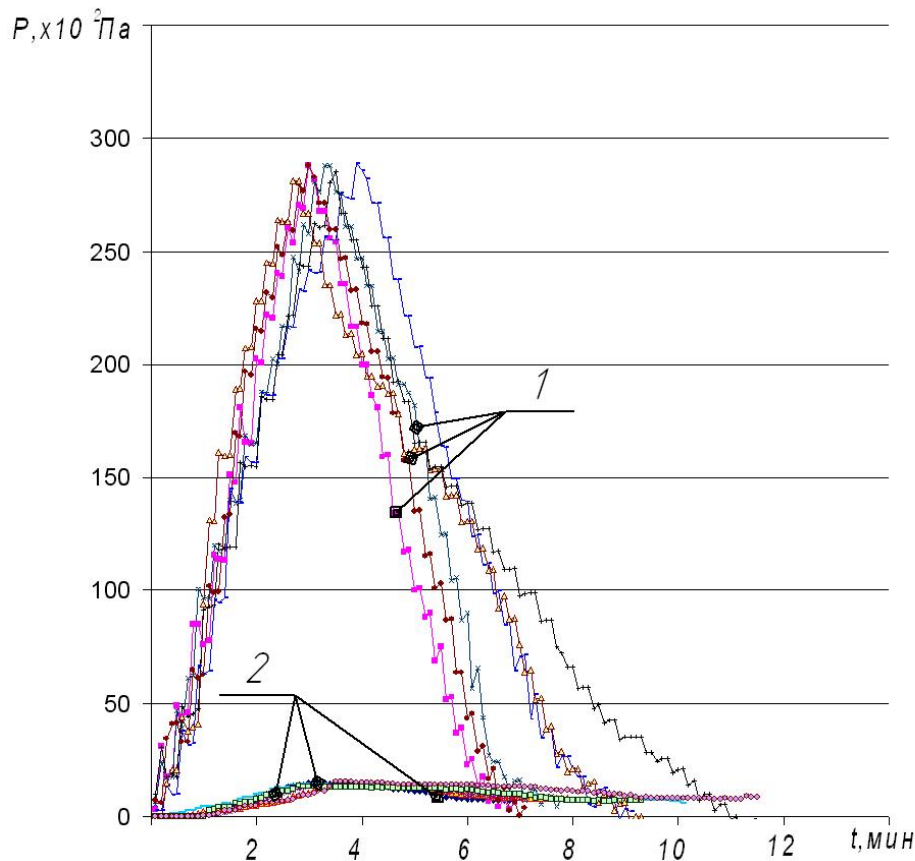


Рис. 7. Графики изменения давления на внешнем контуре модели (2) при изменении давления рабочей камере №1 (1) для случая нагружения и разгрузки модели со стеклянными шарами при радиусе внешнего контура 50см

Анализ графиков показывает, что несмотря на небольшую скорость изменения давления и перерыв между этапами нагружения и разгрузки до полного прекращения смещений дискретных элементов, наблюдается запаздывание передачи давления на внешний контур модели. Так рост давления на внешнем контуре начинается после достижения давлением на внутреннем контуре величины $70-100 \times 10^2$ Па, а при уменьшении давления на внутреннем контуре, в начале разгрузки модели, на внешнем контуре давление еще продолжает расти. Это также подтверждает, что при нагружении происходит переупаковка элементов и последовательное уплотнение дискретного материала в направлении от зоны ближней к заряду НРВ вглубь массива, и система переходит из безраспорной сыпучей среды в состояние распорной среды, что изменяет режим работы материала модели.

Обработка результатов моделирования позволила получить графики (рис. 8) изменения коэффициента передачи давления через дискретный материал при уве-

личении расстояния между внутренним R_1 и внешним R_2 контуром модели для различного вида дискретного материала.

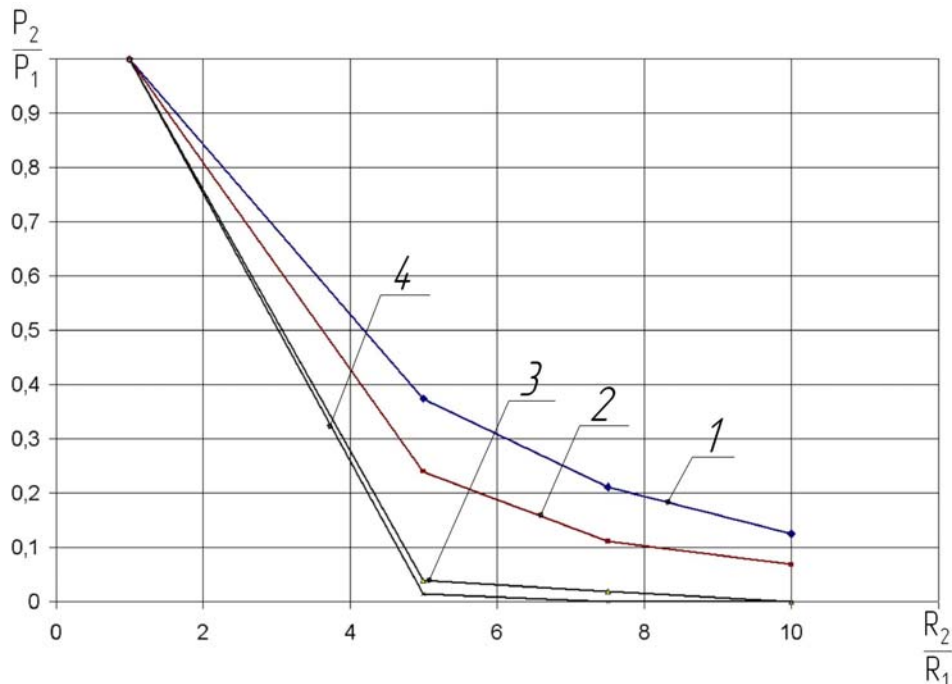


Рис. 8. Графики зависимости коэффициента передачи давления через дискретный материал P_2/P_1 , от расстояния между зарядной камерой и внешним радиусом дискретной области R_2/R_1 на контуре которой проводится измерение давления.

- В качестве дискретных элементов
- 1 – пустотелые шарики диаметром 5 см;
 - 2 – стеклянные шарики диаметром 2 см;
 - 3 – керамзит со средним размером частиц 1,6 см;
 - 4 – горох средним диаметром 0,6 см

В общем случае можно сказать, что давление на внешнем контуре снижается по зависимости близкой к экспоненциальной при увеличении радиуса дискретной области.

С уменьшением размера дискретных элементов снижается размер зоны влияния распорного элемента, поскольку увеличивается количество элементов а, следовательно, и контактных пар трения, что вызывает образование сводов, заклинивание элементов, и соответственно рассеяние энергии. Отклонение формы дискретного элемента от идеальной (шара) также приводит к уменьшению размеров зоны влияния, поскольку при переупаковке элементов образуются не только точечные контакты, но и плоскости трения, иногда сцепления, что повышает эффект заклинивания дискретных элементов. Это явление является отрицательным на этапе нагружения, зато играет положительную роль при разгрузке модели.

Таким образом, можно сделать вывод, что передача давления от заряда НРВ вглубь массива, представленного дискретной средой, является сложным процессом. Коэффициент передачи давления и интенсивность его изменения зависят от вида дискретных элементов, их размера, величины абсолютного давления. При этом поэтапные перемещения дискретных элементов, особенно на начальном этапе нагружения, имеют случайный характер и зависят от взаимного положения соседних элементов, хотя результирующий вектор смещений направлен вглубь массива радиально оси шпура.

Очевидно, что полученные результаты позволяют получить сугубо качественную характеристику передачи давления через дискретную среду. В моделях не учитывается реальный вес пород и форма породных фрагментов, коэффициент трения пород, количество и ориентировка плоскостей контактов в каждом конкретном случае будет отличаться и зависеть от литотипа пород и степени их дробления, что снижает абсолютную величину сил трения между породными фрагментами, однако можно с уверенностью сказать, что механизм работы материала и характер кривой, описывающей снижение коэффициента передачи нагрузки через дискретный материал, не изменится.

Дальнейшие исследования будут связаны с численным моделированием процесса передачи давления от заряда НРВ вглубь массива, что позволит получить количественные зависимости.

Список литературы

1. Черняк И.Л. Повышение устойчивости подготовительных выработок / И.Л. Черняк. – М.: Недра, 1993. – 256 с.
2. Спосіб зміцнення гірських порід: пат. № 51574, МПК(2009) E21D 11/00 / 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. – 5 с.:ил.
3. Спосіб зміцнення гірських порід в процесі підтримання виробки: заявка на патент на винахід а 2011 12645, МПК(2009) E21D 11/00 / М.М. Касьян, І.Г. Сахно, В.М. Мокрієнко. – пріорітет від 28.10.2011 р.
4. Сахно И.Г. Лабораторные исследования явления передачи давления от саморасширяющегося состава мелкофракционным дискретным материалом / И.Г. Сахно // Проблемы гірського тиску. Донецьк 2009. – №17. – С. 180-191.

Надійшла до редколегії 23.04.2012

I.G. Sakhno

Donetsk National Technical University, Donetsk

ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕДАЧІ ТИСКУ ВІД ЗАРЯДУ НЕВИБУХОВОЇ РУЙНІВНОЇ РЕЧОВИНИ В ДИСКРЕТНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

У статті наведені результати лабораторних досліджень явища передачі тиску від саморозширення невибухової руйнуючої речовини, поміщеної в шпур, углиб масиву, який представлено дискретним середовищем.

Ключові слова: зміцнення порід, невибухові руйнівні речовини, саморозширення, дискретне середовище.

I.G. Sakhno

Donetsk National Technical University, Donetsk

LABORATORY RESEARCHES OF THE PROCESS OF TRANSMISSION OF PRESSURE FROM THE CHARGE OF INEXPLOSIVE DESTROYING MATTER IN DISCRETE ENVIRONMENT

In the article the results of laboratory researches of the phenomenon of transmission of pressure are provided.

Keywords: strengthening of rocks, inexplosive destroying matters, selfexpansion, discrete environment.