

УДК 622.281

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ  
ПЕРЕДАЧИ ДАВЛЕНИЯ ОТ САМОРАСШИРЯЮЩЕГОСЯ  
СОСТАВА МЕЛКОФРАКЦИОННЫМ ДИСКРЕТНЫМ  
МАТЕРИАЛОМ**

**Сахно И.Г.**

(ДонНТУ, г. Донецк, Украина) [sahno\\_i@mail.ru](mailto:sahno_i@mail.ru)

*На підставі проведеного лабораторного моделювання досліджено явище передачі тиску від саморозширення дрібнофракційним дискретним матеріалом, встановлено можливість, та отримані параметри способу забезпечення стійкості гірських порід, що ґрунтується на штучному розпорі порід в межах зруйнованої зони.*

*Ключові слова: дискретне середовище, стійкість масиву*

*On the basis of the conducted laboratory modelling investigational the phenomenon transmission of pressure from the increase of volume of discrete material with shallow faction, possibility, and got parameters of method providing of stability rocks, which is based on artificial increases of pressure rocks, of within the limits of the destroyed area, is set.*

*Key words: granular media, rock mass stability*

С увеличением глубины ведения горных работ происходит ухудшение горно-геологических условий, это способствует более интенсивному образованию и росту вокруг горных выработок зоны разрушенных пород (ЗРП) и, соответственно, увеличению интенсивности их смещений в полость выработки. Обеспечение эксплуатационного состояния горных выработок в настоящее время происходит в основном за счет увеличения металлоемкости 1 погонного метра выработки, что приводит к повышению стоимости ее сооружения. В то же время способы обеспечения устойчивости, основанные на усилении крепи, не

приносят значительных положительных результатов. Эта проблема особенно актуальна для выработок, подверженных влиянию очистных работ.

Для сохранения устойчивости пород в пределах ЗРП был предложен способ, основанный на распоре разрушенных пород при помощи саморасширяющихся составов [1]. Основным параметром предлагаемого способа обеспечения устойчивости выработок является расстояние между шпурами с распорными элементами. Для определения этого параметра необходимо знать закономерности передачи нагрузки от фронта области расширения вглубь массива. Это позволит определить зону влияния одного шпура. Проведенные лабораторные исследования свойств отечественного саморасширяющегося материала НРВ-80 [2, 3], позволяют определить давление, развиваемое саморасширяющимся составом, при различном коэффициенте податливости - разрыхления пород. Полученные аналитические [4, 5] решения и результаты лабораторных исследований [1] позволяют определить параметры предлагаемой технологической схемы для случая крупноблочной структуры массива. В данной статье, с целью определения зоны влияния одного распорного элемента, ставится задача изучения особенностей передачи давления, развиваемого саморасширяющимся материалом, через дискретную среду. Это позволит определить параметры предлагаемого способа повышения устойчивости, при высокой степени дробления пород в пределах ЗРП. Предлагаемая схема реализации способа обеспечения устойчивости выработки, основанного на распоре вмещающих пород, для рассматриваемого случая представлена на рисунке 1.

Область влияния каждого шпура имеет форму перевернутого усеченного конуса, при этом давление от саморасширения на границе этой области уменьшается при удалении от контура выработки. Что вполне удовлетворяет физике процесса, в том смысле, что вблизи контура выработки степень разрушения пород максимальная, а, следовательно, и усилия, необходимые для их сжатия и удержания нужны самые большие. При такой постановке вопроса основным параметром

является необходимым с точки зрения обеспечения устойчивости разрушенных пород размер ширины области влияния шпура с распорным элементом (В), в каждом сечении предполагаемого усеченного конуса.

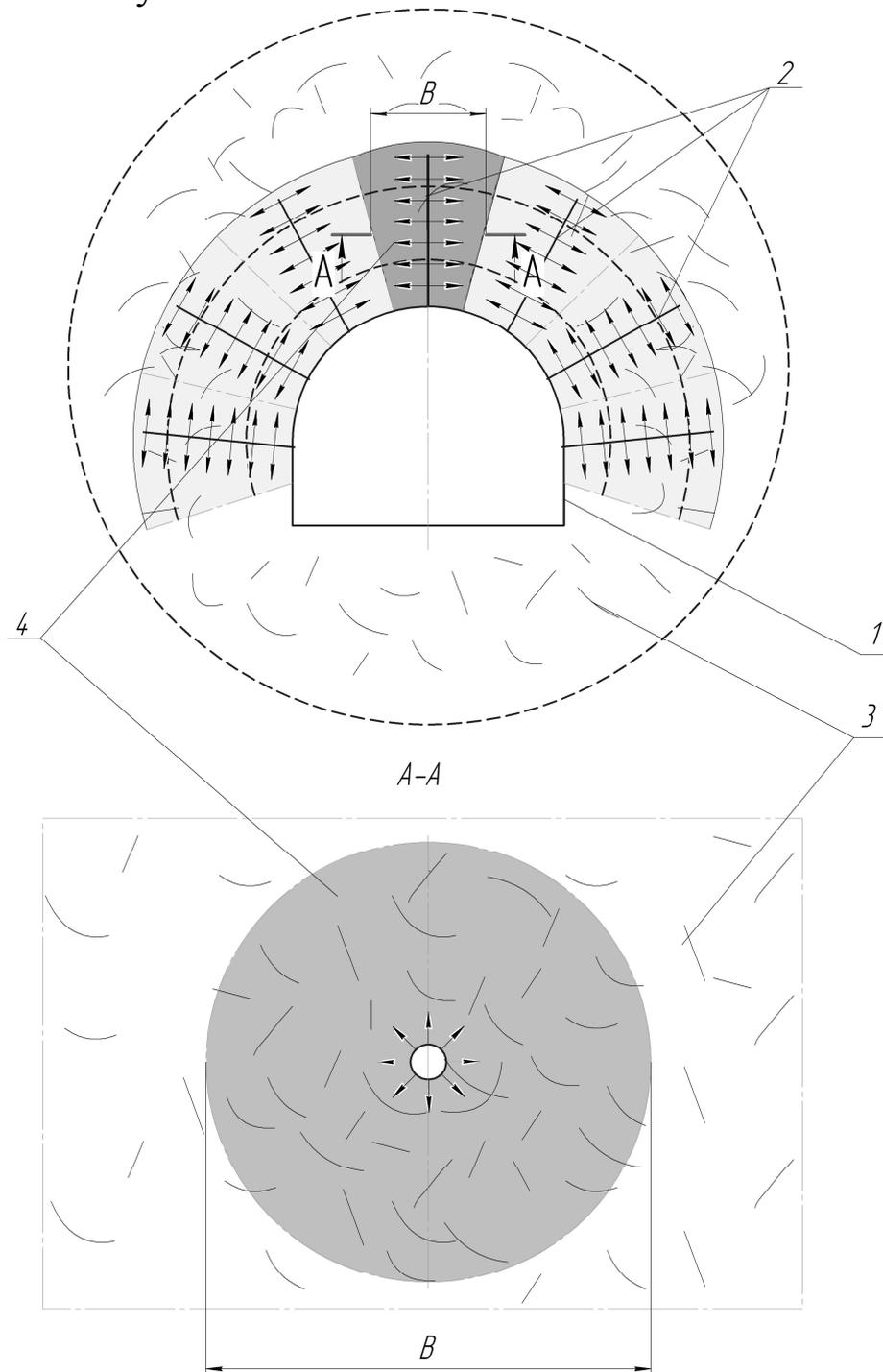


Рис. 1. Схема создания несущей конструкции из разрушенных пород

- 1 – контур выработки;
- 2 – шпуры с распорными элементами;
- 3 – разрушенные породы;
- 4 – предполагаемая область влияния одного шпура.

Максимальное расстояние между шпурами определяется из условия соприкосновения зон влияния соседних шпуров. Минимальное расстояние – выбирается из условия предотвращения разрушения пород саморасширяющимся материалом.

Решение поставленной задачи проводилось методом физического моделирования в соответствии с [6]. Исследование проводилось на структурных моделях. Моделировался массив пород, вмещающий шпур с распорным элементом. Задача решалась в плоской постановке, в силу ее осесимметричности моделировалась только половина поперечного сечения. При моделировании соблюдалось геометрическое подобие. Масштаб моделирования 1:1.

Для моделирования был изготовлен специальный стенд, представляющий собой деревянную раму (1) в форме полукруга с задней глухой и передней прозрачной стенками. В центре условной окружности располагалась камера №1 (2), которая имитировала шпур с саморасширяющимся материалом. По контуру располагалась камера №2 (3) – предназначенная для определения давлений на контуре. Принципиальная схема модели представлена на рисунке 2. В качестве дискретных элементов (4) использовались пластиковые пустотелые шарики.

Перед экспериментом шарики укладывались в модель. После этого давление в камере №1 пошагово повышалось, путем изменения высоты столба жидкости создававшего распор, на каждом шаге производилась фиксация давления в камере №2. После достижения предельного давления в камере №1, производилась пошаговая разгрузка модели, с фиксацией показаний обеих шкал. Было проведено несколько серий опытов, которые отличались между собой расстоянием между рабочими камерами.

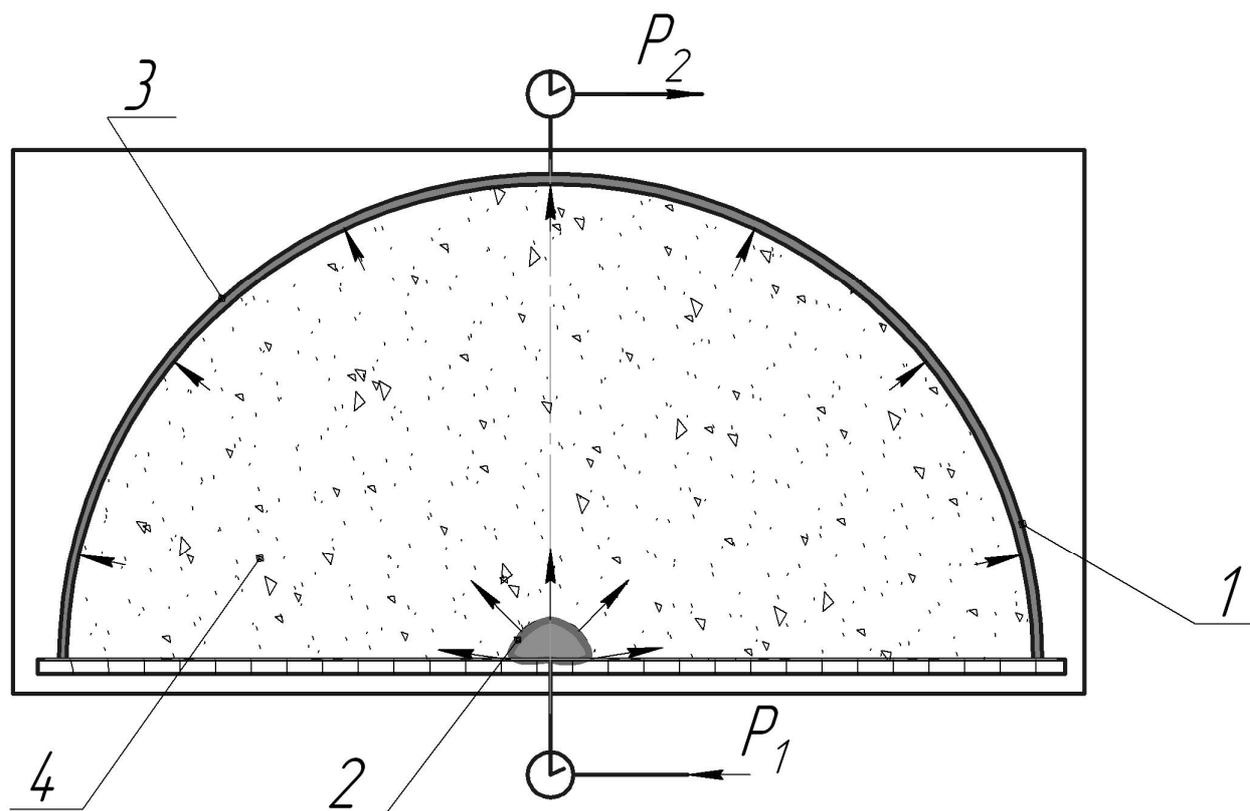


Рис. 2. Принципиальная схема модели

Диаметр наружной окружности, по контуру которой располагалась камера №2, в разных экспериментах изменялся от 0,25 до 0,5 м. Диаметр внутренней окружности (камеры №1) на начало эксперимента составлял 0,045-0,050 м. Таким образом, была получена картина передачи давления через идеальную дискретную среду в обоих направлениях.

Общий вид моделей на моменты начала, и конца эксперимента приведен на рис. 3-4.

На основании полученных результатов исследований были построены графики зависимости давления, возникающего на наружном контуре разрушенных пород, от давления саморасширения во внутреннем контуре (рис. 5). Радиус наружной окружности при этом составлял  $R_2=20R_1$ , где  $R_1$  – радиус внутренней окружности. Нижняя ветвь графиков описывает поведение материала в модели при ее нагружении, верхняя – при разгрузке.



Рис. 3. Общий вид модели до приложения нагрузки



Рис. 4. Общий вид модели после приложения нагрузки

Исходя из общих представлений физики твердого тела, пренебрегая трением между дискретными элементами и их весом, ввиду весьма малого значения этих величин, можно сделать вывод, что давление на контуре модели ( $P_2$ )

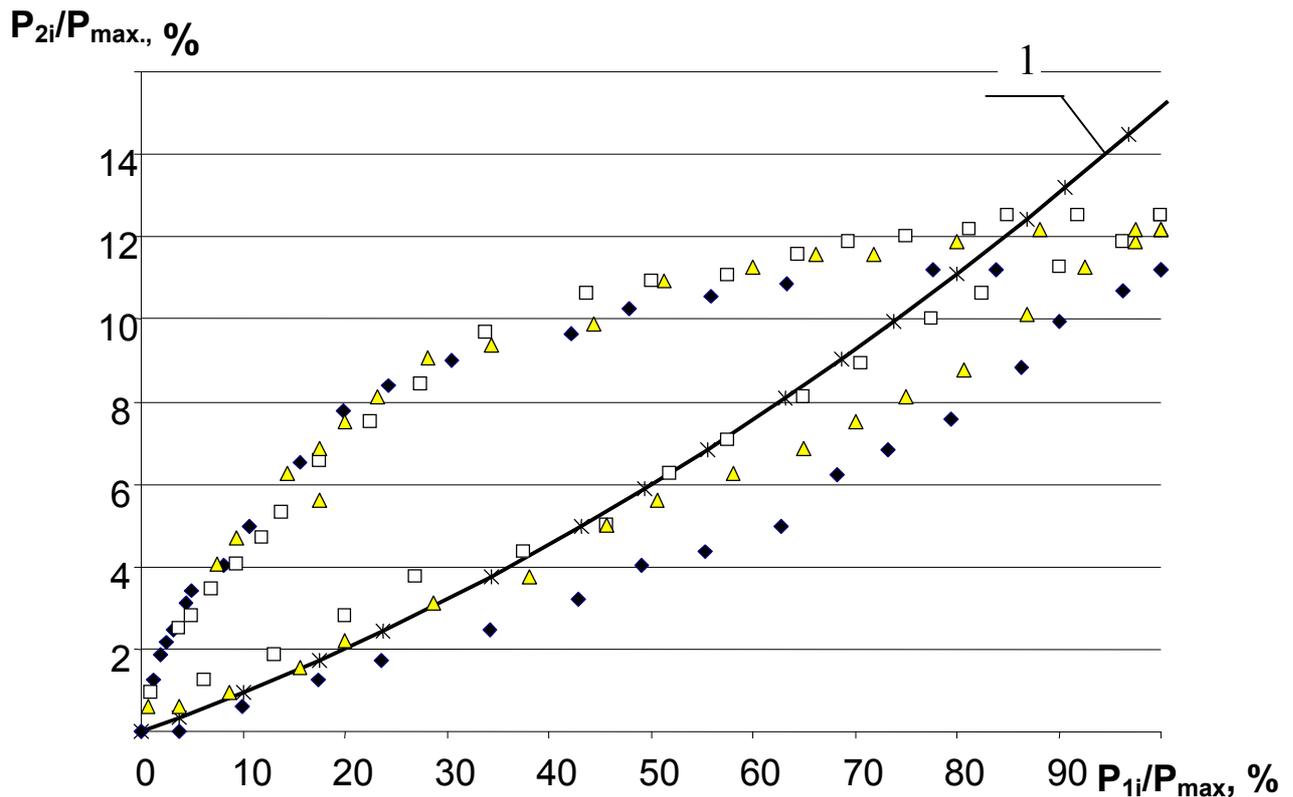


Рис. 5. Графики зависимости давления, возникающего на наружном контуре разрушенных пород  $P_{2i}/P_{\max}$ , от величины давления саморасширения развиваемого во внутреннем контуре  $P_{1i}/P_{\max}$

будет меньше давления распора в камере №1 ( $P_1$ ) во столько же раз, во сколько площадь контакта камеры №2 ( $S_2$ ) с дискретным материалом больше площади контакта камеры №1 ( $S_1$ ). То есть:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{S_2}{S_1} \quad (1)$$

На основе приведенных соображений, была построена теоретическая кривая – 1, представленная на графике рис. 5., которая описывает поведение материала при приложении нагрузки в модели и при ее разгрузке. Однако анализ полученных экспериментальным путем графиков показывает, что фактические кривые зависимости давления на контуре зоны от

внутреннего давления несколько отличаются от теоретической. Это можно объяснить заклиниванием и локальной консолидацией дискретных элементов при приложении и снятии нагрузки.

Следует отметить, что при нагружении модели фактические отклонения от теоретической кривой находились в диапазоне 20-35%, при этом давление, передаваемое на контур всегда меньше теоретического. Экспериментальные и теоретическая кривые имеют одинаковый характер и аппроксимируются стандартной квадратичной зависимостью вида  $P_2 = aP_1^2 + bP_1 + c$ , при этом корреляционное отношение всегда не ниже 0,95.

При разгрузке модели, вид экспериментальных кривых обратный теоретической, хотя кривые также достаточно хорошо аппроксимируются квадратичной зависимостью вида  $P_2 = -aP_1^2 + bP_1 + c$ , при этом корреляционное отношение не превышает 0,95. Однако фактические отклонения значений от теоретической зависимости в этом случае достигают 100%, при этом давление, передаваемое от контура разрушенных пород внутрь всегда меньше теоретического. Объясняется это тем, что 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. Так при снятии 60% внутренней нагрузки, давление на контуре разрушенного массива снизилось менее чем на 20%. То есть система 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 активного распора.

Характер снижения коэффициента передачи нагрузки через дискретный материал при увеличении расстояния между внутренним и внешним контуром модели представлен на рис. 6. Давление на внешнем контуре снижается по экспоненциальной зависимости при увеличении радиуса дискретной области.

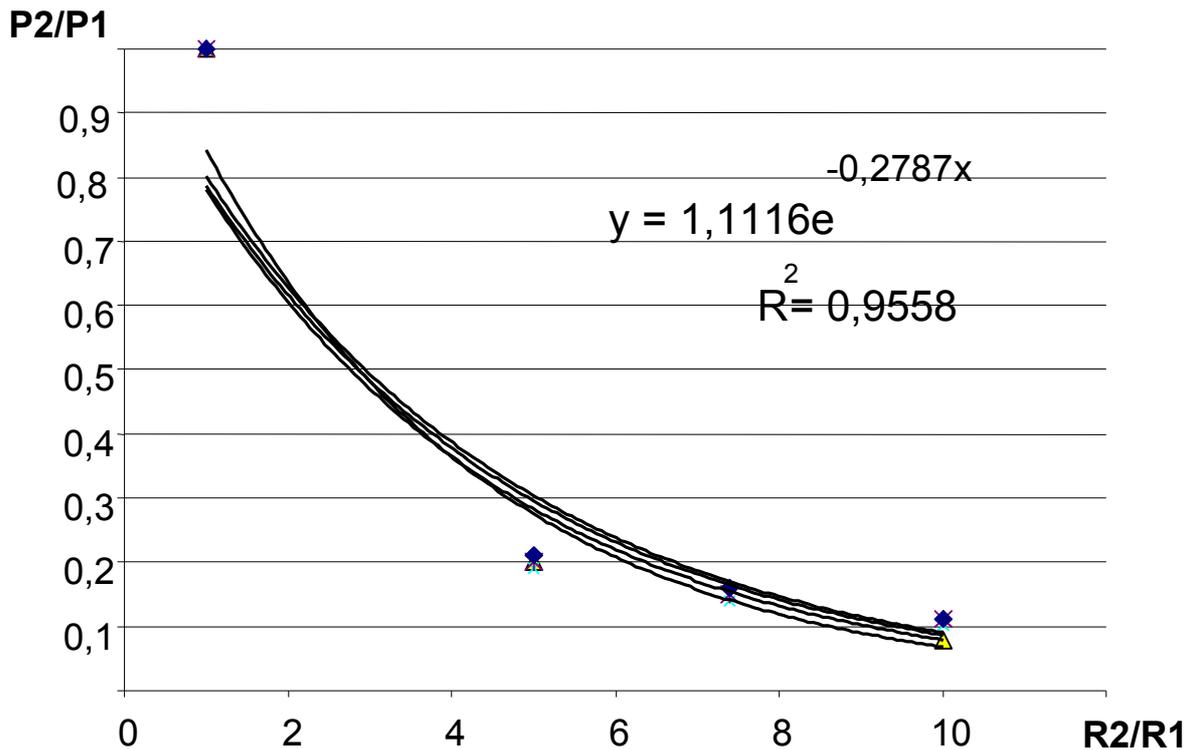


Рис. 6. Графики зависимости коэффициента передачи давления через дискретный материал  $P_2/P_1$ , от расстояния между внутренним и наружным контурами разрушенных пород  $R_2/R_1$ .

Пользуясь полученным уравнением регрессии

$$P_2 = (1,1116e^{-0,2787 \frac{R_2}{R_1}}) \cdot P_1 \quad (2)$$

построим области влияния шпуров с саморасширяющимся материалом (рис. 7), на которые нанесем эпюры давления в дезинтегрированном массиве. При этом известно, что радиус шпура  $R_1=0,043$  м. Максимально допустимое давление в шпуре, не допуская разрушение, принимаем равным длительной прочности пород  $P_{1\max} = 0,7 \cdot \sigma_{сж}$ . Минимальное давление на контуре условной окружности принимаем  $P_{2\min} = 0,05 \cdot \sigma_{сж}$ . При условии, что породы непосредственной кровли представлены аргиллитом с пределом прочности 50МПа.

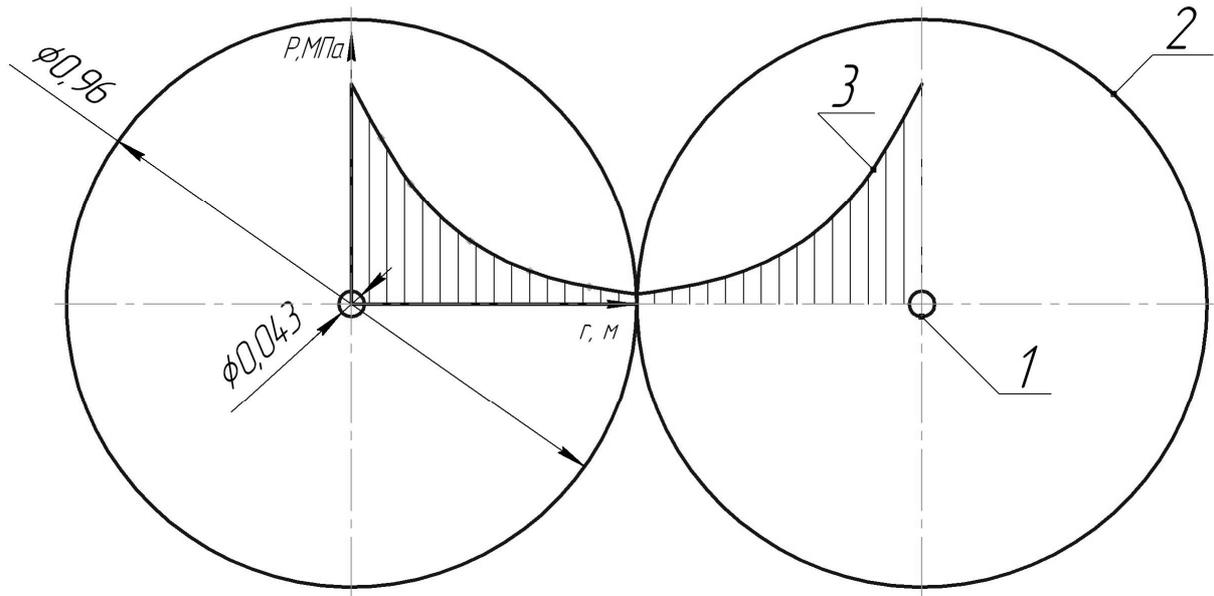


Рис. 7. Схема взаимодействия областей влияния шпуров с саморасширяющимся материалом и эпюры давления в дискретной среде вокруг шпура, при условии прочности пород на одноосное сжатие 50МПа

Очевидно, что в реальных условиях размер зоны влияния шпура с распорным элементом будет меньше, так как при лабораторном моделировании принята идеальная среда, не учитывается вес пород и реальная форма породных блоков, что снижает абсолютную величину сил трения между породными фрагментами, однако характер кривой, описывающей снижение коэффициента передачи нагрузки через дискретный материал не изменится. Коэффициент трения пород, количество и ориентировка плоскостей контактов в каждом конкретном случае будет отличаться, и зависеть от литотипа пород и степени их дробления, что на практике будет характеризоваться опусканием эпюры давления параллельно приведенной на рис. 7. С учетом сказанного уравнение 2 примет вид

$$n \cdot P_2 = (1,1116e^{-0,2787 \frac{R_2}{R_1}}) \cdot P_1 \quad (2)$$

где  $n$  – коэффициент снижения давления саморасширения в дискретном материале.

Принимая  $n$  равным 2, можем сказать, что рациональное расстояние между шпурами в этом случае составит 0,5м.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие **ВЫВОДЫ**:

1. Предлагаемый способ обеспечения устойчивости горных выработок может применяться в условиях высокой степени дробления разрушенных пород в пределах ЗРП;

2. Увеличение давления от саморасширения внутри шпура приводит к увеличению давления в дискретном материале, при этом рост давления на контуре зоны влияния шпура происходит по квадратичной зависимости вида  $P_2 = aP_1^2 + bP_1 + c$ ;

3. При последующем снижении давления от саморасширения внутри шпура (при разгрузке модели), вид экспериментальных кривых достаточно хорошо аппроксимируется квадратичной зависимостью вида  $P_2 = -aP_1^2 + bP_1 + c$ . При этом 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. Результатом является то, что при уменьшении внутренней нагрузки на 60%, давление на контуре разрушенного массива снижается менее чем на 20%. То есть система обеспечивает самоподдержание элементов.

4. Коэффициент передачи нагрузки на внешний контур дискретной зоны снижается по экспоненциальной зависимости при увеличении радиуса дискретной области. При этом давление, возникающее на расстоянии  $R_2$  от шпура с распорным элементом можно рассчитать по формуле 3.

## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Сахно И.Г., Петренко Ю.А., Овчаренко Н.А. Лабораторные исследования особенностей работы разрушенных горных пород

при формировании из них несущей конструкции / Проблемы гірського тиску 2008, №16- С 70-81

2. Касьян Н.Н., Овчаренко Н.А., Сахно И.Г., Петренко Ю.А., Самусь О.Л. Лабораторные исследования работы невзрывчатых разрушающих веществ при упрочнении массивов разрушенных горных пород // Науковий вісник НГУ. 2008. - №8. - С. 50-52.

3. Касьян Н.Н., Сахно И.Г. Лабораторные исследование влияния компонентного состава НРВ-80 на его рабочую характеристику при укреплении вмещающего горные выработки массива // Вісник Криворізького технічного університету. 2009. - №23. - С. 31-34.

4. 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.

5 Касьян М.М., Овчаренко М.А., Сахно І.Г., Петренко Ю.А. Обоснование параметров новой технологии перекрепления выработок // Новые технологии подземного строительства и добычи полезных ископаемых: Мат международной научн. – техн. конф. (г. Алчевск, 11-13 апреля 2008г.).– Алчевск: ДонГТУ, 2008 – С. 105-108.

6. Методы и средства решения задач горной геомеханики / Г.Н. Кузнецов, К.А. Ардашов, Н.А. Филатов и др. - М.: Недра. – 1987. – 248 с.

*Здано до редакції 13.11.2009  
Рекомендував до друку д.т.н. Кас'ян М.М.*