

622.831.3

Касьян Н.Н. докт. техн. наук (ГВУЗ ДонНТУ), Сахно И.Г. канд. техн. наук (ГВУЗ ДонНТУ), Гладкий С.Ю. инж. ОП ш. «Добропольская»

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАЗРУШЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД, ОСНОВАННЫЙ НА ПРИМЕНЕНИИ САМОРАСШИРЯЮЩИХСЯ СОСТАВОВ

Анализ состояния современных горных выработок показывает, что потеря площади поперечного сечения для подготовительных выработок вне зоны влияния очистных работ превышает 30-40%, а на сопряжениях с очистным забоем – достигает 50-70%, что приводит к необходимости их перекрепления и ремонта. Общеизвестным фактом является то, что на современных глубинах разработки 100% выработок, подверженных влиянию очистных работ, за период своего существования ремонтируются не менее одного раза. При этом на шахтах Украины в подавляющем большинстве случаев практически не применяется техника, позволяющая механизировать процесс ремонта горных выработок, что объясняется отсутствием необходимых размеров поперечного сечения и зазоров в выработках, а также расположением в них транспортного и вспомогательного оборудования. Кроме того, производство ремонтных работ, выполняемое, как правило, вручную, часто сопровождается внезапными обрушениями и вывалами, ликвидация последствий которых приводит к увеличению сроков выполнения, повышению трудоемкости и стоимости ремонтных работ.

Применение более металлоемких конструкций крепей и повышение плотности их установки не позволяет решить указанную проблему. Это объясняется сложностью предотвращения и сдерживания развития вокруг выработок на современных глубинах разработки зоны разрушенных пород (ЗРП). Традиционные подходы к обеспечению эксплуатационного состояния горных выработок, находящихся в зоне разрушенных пород, базирующиеся

на силовом противодействии процессам перемещения массивов деструктурированных пород в полость выработки, на наш взгляд, не имеют перспективы.

В горной практике имеется опыт реализации различных способов повышения несущей способности горных пород. Способы упрочнения основанные на нагнетании вяжущих скрепляющих составов в законтурную область [1, 2], требуют значительных вложений, при этом не обеспечивают направленного контролируемого укрепления пород. Известны также способы, основанные на взрывном упрочнении [3], в которых повышение несущей способности пород достигается, как правило, за счет увеличения их плотности. Взрывное упрочнение может быть реализовано только в условиях пород склонных к пластическим деформациям. Упрочнение разрушенных горных пород с хрупкими свойствами за счет их взрывного нагружения достаточно сложно и практически нереализуемо, так как динамическое воздействие на разрушенный массив приводит к его повторному дроблению, а после взрыва нет сопротивления обратному движению разрушенных пород в направлении шпура, что снижает, а зачастую и вовсе снимает эффект повышения несущей способности деструктурированного массива. Кроме этого известны способы взрывного закрепления трубчатых анкеров [4], в которых эффект укрепления достигается за счет работы анкерной крепи, прижатой к стенкам шпура в результате взрыва, а также за счет сопротивления сдвигению пород в направлении шпура оказываемом трубчатым анкером. Однако при реализации этих способов большая энергия расходуется на деформирование трубчатой анкерной штанги. Применение же анкерной крепи, согласно существующим в настоящее время представлениям, имеет смысл в условиях ненарушенного массива.

Авторами предлагается ресурсосберегающая технология повышения несущей способности разрушенных пород вокруг горной выработки, основанная на использовании собственной прочности горных пород и сложившегося в окружающем массиве равновесного состояния [5].

Предлагаемый подход сводится к тому, что роль дополнительной крепи выполняет искусственно создаваемая из породных отдельностей в пределах ЗРП несущая конструкция. Формирование этой конструкции обеспечивается путем увеличения сил трения между породными фрагментами, в пределах ЗРП, что достигается при помощи их силового распора.

Способ реализуется следующим образом, по фактическому контуру выработки в массив горных пород бурятся шпуры, в шпуры помещают саморасширяющийся состав, после чего шпуры герметизируют. В результате увеличения в объеме саморасширяющегося состава он оказывает давление на стенки шпура и сжимает породы вокруг выработки.

Таким образом, при арочной форме сечения выработки, и веерной схеме бурения шпуров вокруг нее создается сжатая сводообразная зона. Предлагаемая схема реализации способа обеспечения устойчивости выработки, основанного на распоре вмещающих пород, представлена на рисунке 1.

Основным параметром предлагаемого способа является необходимый, с точки зрения обеспечения устойчивости разрушенных пород, размер ширины области влияния шпура с распорным элементом (В). Указанный размер зоны влияния шпура позволяет определить необходимое расстояние между шпурами для реализации способа. Проведенные лабораторные исследования [6] передачи давления P_1 от стенок шпура, содержащего саморасширяющийся состав, с радиусом R_1 мелкофракционным дискретным материалом на расстояние R_2 позволили, получить эмпирическую зависимость, которая позволяет с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,95$ определить давление на расстоянии R_2 от оси шпура

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

где n – коэффициент снижения давления саморасширения в дискретном материале, определяемый экспериментальным методом.

Для решения приведенного уравнения необходимо знать давление саморасширения P_1 развиваемое в шпуре.

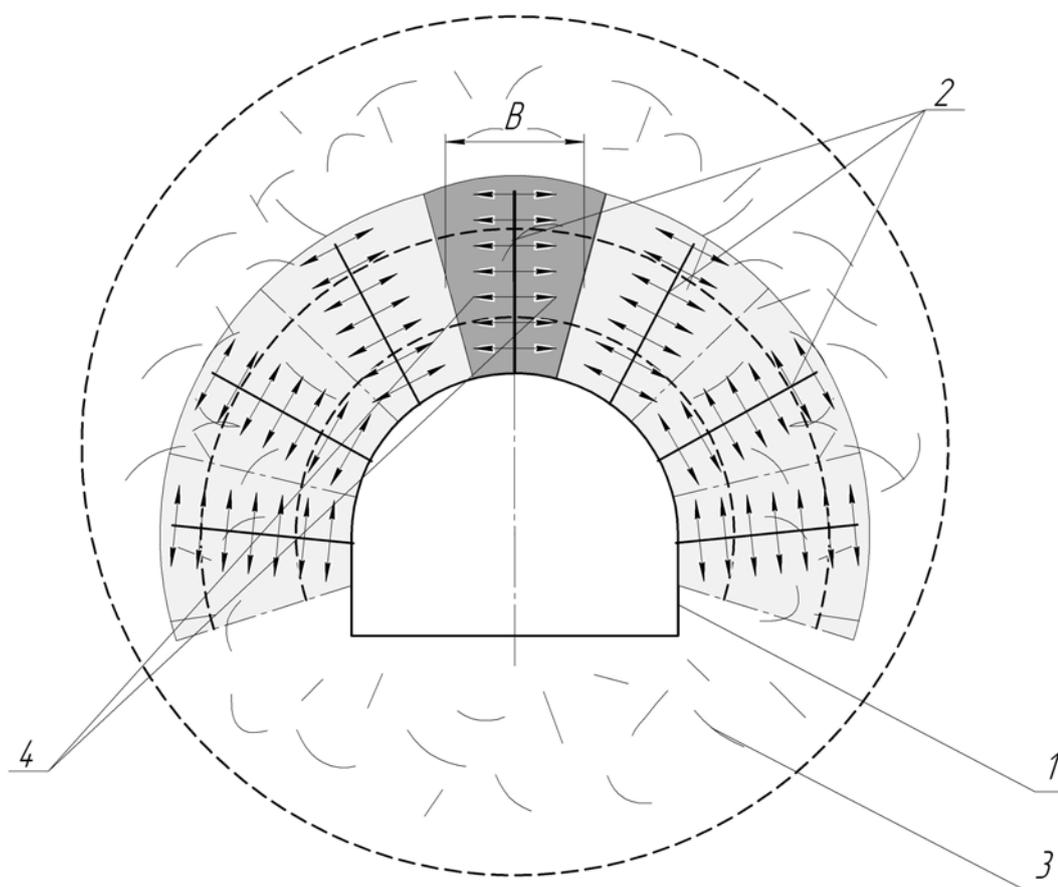


Рис. 1. Схема создания несущей конструкции из разрушенных пород
1 – контур выработки;
2 – шпур с саморасширяющимся составом;
3 – разрушенные породы;
4 – предполагаемая область влияния одного шпура.

В качестве рабочего агента для создания давления в шпуре предлагается использовать невзрывчатые разрушающие составы на основе оксида кальция, в процессе гидратации которых происходит рост объема и, соответственно, давления на стенки шпура, например, может применяться двухкомпонентный материал НРВ-80 [7], выпускаемый в настоящее время в Украине. Лабораторные исследования свойств НРВ-80 [8, 9] показали, что

это вещество способно создавать давление на стенки шпура до 80 МПа. Рабочая характеристика указанного материала при отсутствии предварительного нагружения приведена на рис. 2.

В результате обработки результатов экспериментов при фиксированном объемном изменении материала [9] был получен график (рис. 3) зависимости давления развиваемого НРВ-80 через 24 часа после приготовления состава от его объемных изменений. По сути, приведенный график является одной из основных характеристик изучаемого материала с позиций его применения в шпуровых и скважинных зарядах, он позволяет обоснованно подходить к расчету параметров и выбору схемы расположения шпуров (скважин) в породном массиве.

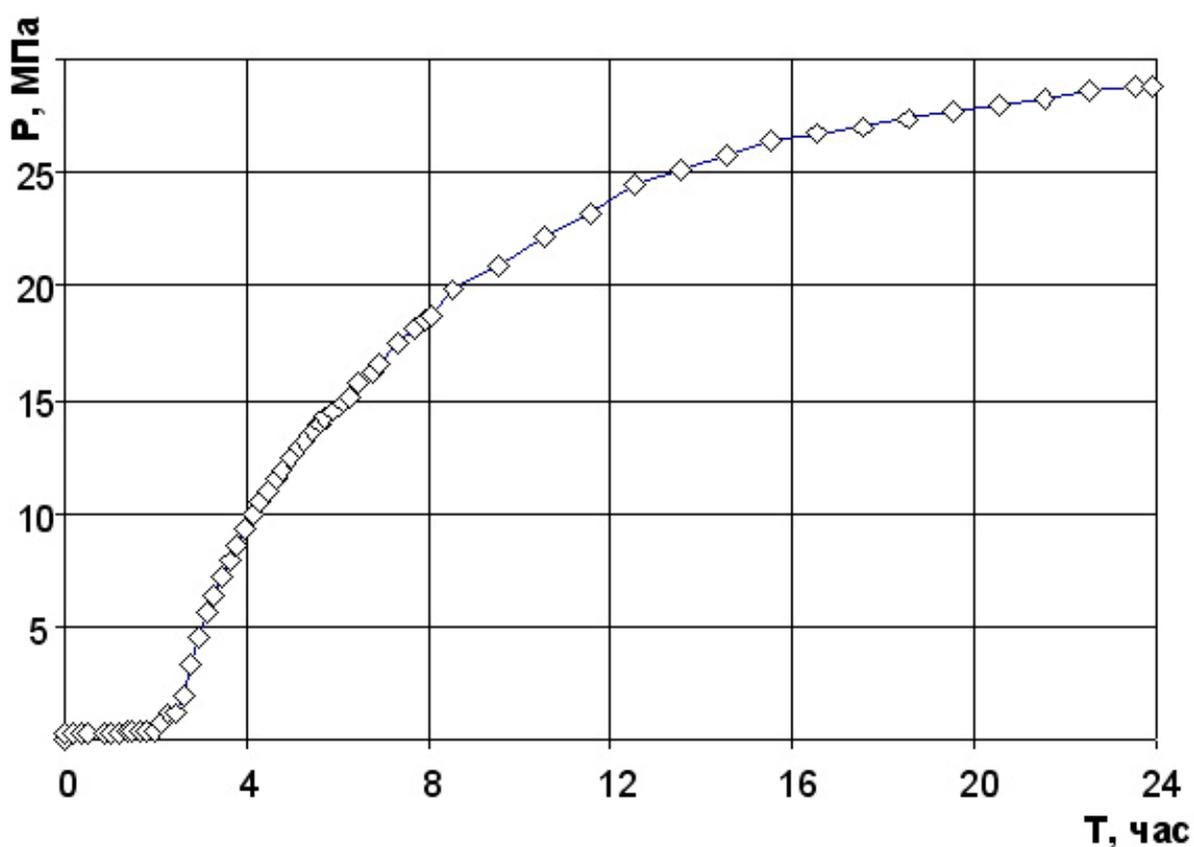


Рис. 2. График роста давления (P) саморасширения НРВ-80 во времени (T) при отсутствии предварительного нагружения.

Анализ графика (рис. 3) показывает, что при увеличении объемных деформаций материала давление, развиваемое им, снижается. Интенсивный рост давления начинается при объемных деформациях состава менее 1,5%. Поскольку определение давления, развиваемого НРВ, проводилось через смещения плит пресса, то с достаточной точностью удалось установить давления, развиваемые при объемных деформациях до 0,2%. Величина давления от саморасширения материала при этом составляет около 55 МПа. Характер кривой, приведенной на рисунке 7, позволяет с уверенностью сказать, что при ограничении объемных изменений более 0,2% давление от саморасширения НРВ-80 достигнет 80 МПа и более.

При этом видно, что исследуемая зависимость может быть достаточно надежно описана логарифмическим законом. Построена линия регрессии, аппроксимирующая данные экспериментов с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,94$, это позволяет с уверенностью сказать о надежной связи показателей.

Таким образом, эмпирическая зависимость величины давления от саморасширения материала НРВ-80 (P_{24}) в возрасте 24 часа от допустимых объемных деформаций (V_0) имеет вид

$$P_{24} = -6,837 \ln(V_0) + 39,78$$

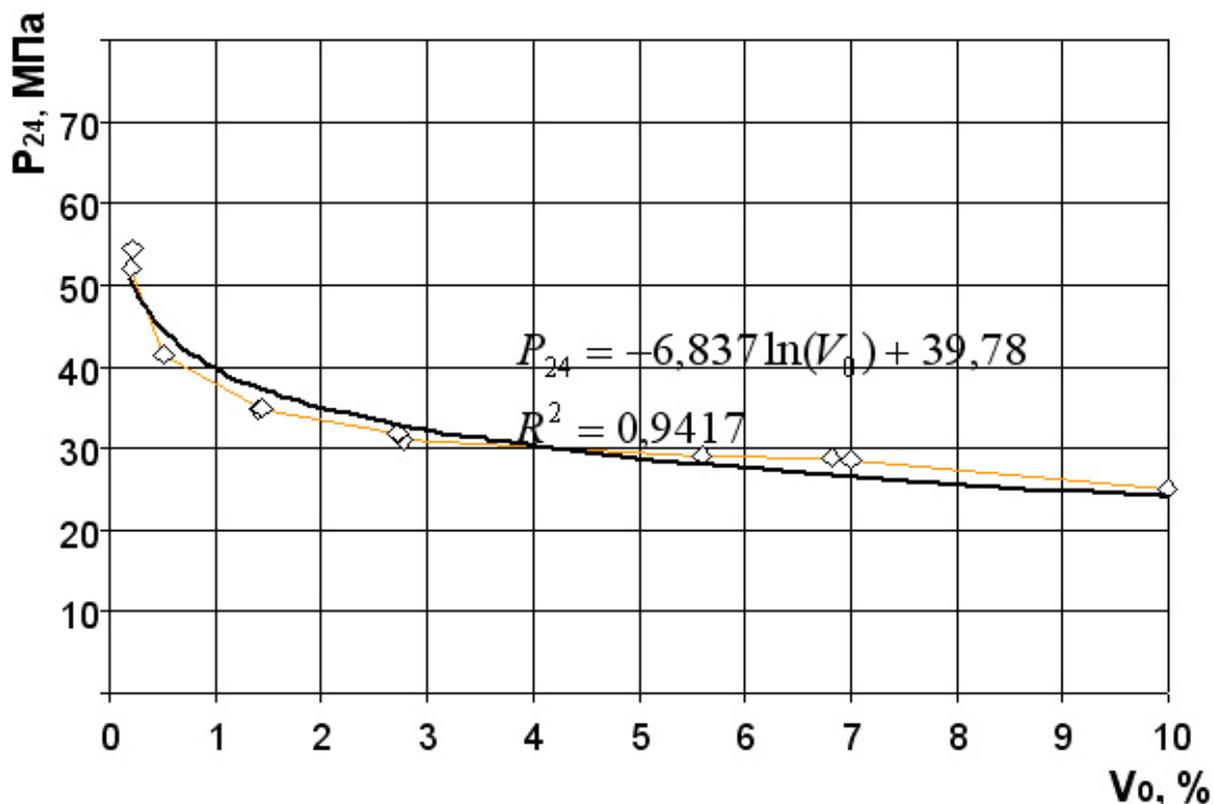


Рис. 3. График зависимости развиваемого давления саморасширения (P_{24}) от величины объемной деформации (V_0) через 24 часа после приготовления состава НРВ.

Таким образом, зная давление создаваемое на стенки шпура НРВ и пользуясь уравнением регрессии (1) построим области влияния 1 шпуров с саморасширяющимся составом 2 (рис. 4), на которые нанесем эпюры напряжений 3 в дезинтегрированном массиве. Для примера рассмотрим случай, когда породы непосредственной кровли представлены алевролитом с пределом прочности $\sigma_{сж} = 35 \text{ МПа}$, при радиусе шпура $R_1 = 0,042 \text{ м}$, давлении саморасширения в шпуре $P_1 = \sigma_{сж}$, минимальном давлении на границе зоны влияния шпура $P_2 = 0,05 \cdot \sigma_{сж}$, принимая n равным 2, можем сказать, что рациональное расстояние между шпурами составит 0,5 м.

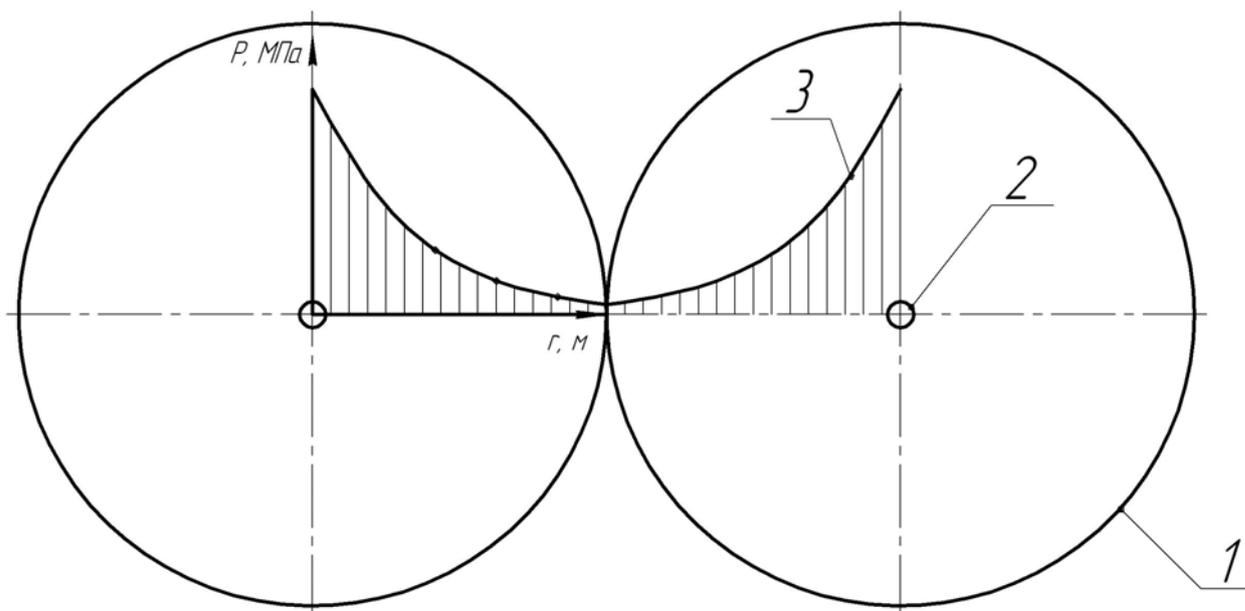


Рис. 4. Схема взаимодействия областей влияния шпуров с саморасширяющимся материалом и эпюры напряжений в дискретной среде вокруг шпура

Поскольку породы в пределах ЗРП могут быть отнесены к дискретной среде с большой долей условности исследование передачи давления от стенок шпура вглубь массива также было проведено методом конечных элементов [10]. Задача решалась в объемной постановке. Моделирование проводилось в масштабе 1:1. Моделировался шпур содержащий заряд НРВ; на внутреннюю поверхность моделируемого шпура прикладывалась распределенная нагрузка, соответствующая давлению от саморасширения.

Исходные данные для моделирования были взяты из кадастра физических свойств горных пород для условий Донецко-Макеевского угленосного района. Основные данные о горных породах, вмещающих шпур, используемые при моделировании приведены в таблице 1. Задача решалась в два этапа - в упругой линейной постановке, и в нелинейной постановке с использованием критерия Кулона Мора, что соответствовало деформированному массиву.

Таблица 1

№ п/п	Горная порода	Прочность на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	Объемная масса γ , кгс/м ³	Модуль упругости Е, кгс/см ²	Угол внутреннего трения φ , 25 град	Сцепление С, кгс/см ²
1	Алевролит	35	2400	258000	25	95

Обработка результатов моделирования позволила получить графики, характеризующие изменение коэффициента передачи давления саморасширения через породный массив (рис. 5), где по оси абсцисс отложено отношение расстояния от центральной оси шпура R2 к радиусу шпура R1, по оси ординат - отношение давления P2, возникающего на расстоянии R2 к давлению P1 оказываемому НРВ на стенки шпура.

Задаваясь необходимым давлением на границе зон влияния соседних шпуров, например, 5% от давления на стенки шпура, пользуясь графиками, приведенными на рисунке 5, можем установить необходимое расстояние между шпурами для моделируемых пород. Указанное расстояние составит 0,4м и 0,6м при решении задачи в упругой линейной и в нелинейной постановке соответственно, что достаточно удовлетворительно согласуется с результатами лабораторных исследований.

Анализ графиков позволяет сделать вывод, что коэффициент передачи давления снижается при удалении от стенок шпура вглубь массива по зависимости близкой к экспоненциальной.

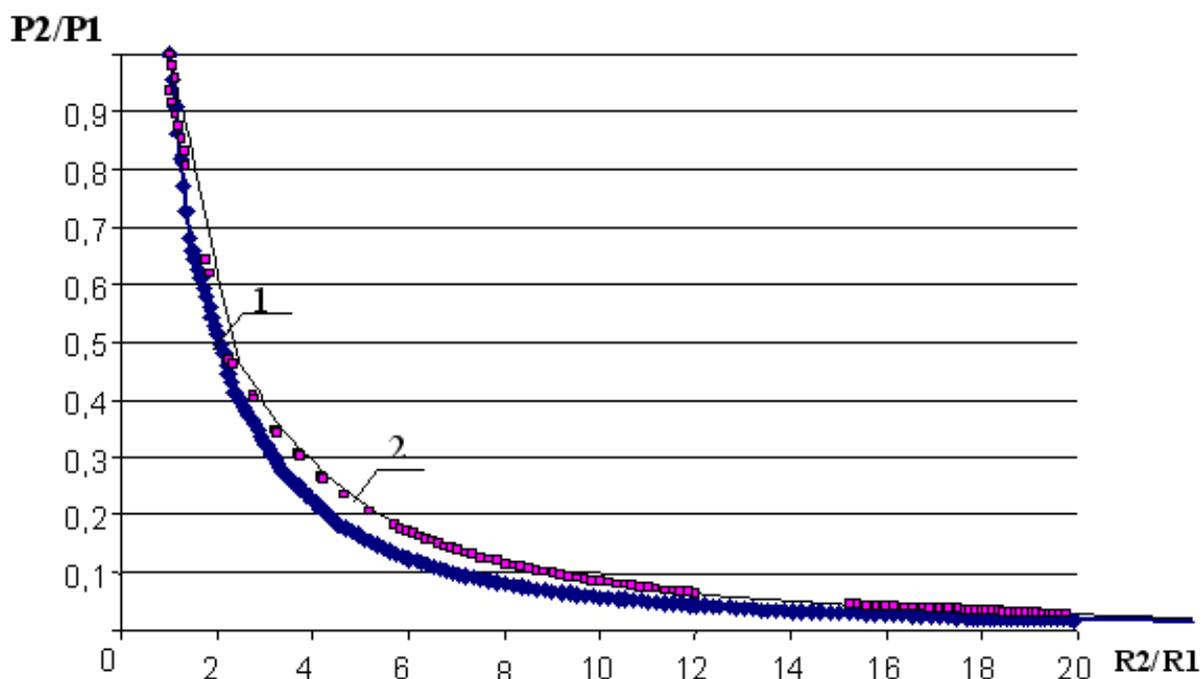


Рис 5. Графики, зависимости коэффициента передачи давления ($P2/P1$) вглубь массива пород на расстояние $R2/R1$

- 1 – при линейной упругой постановке задачи;
- 2 – при нелинейной постановке с использованием критерия Кулона-Мора.

Шахтные испытания разработанного способа укрепления горных пород были проведены при перекреплении грузового ходка уклона пл. m_4^0 гор. 450м на ОП «Шахта «Добропольская»» на участке длиной 16 м (ПК 9-10). Реализация данного способа при перекреплении выработок позволяет предотвратить нежелательный выпуск породы из запроектного контура при демонтаже деформированной рамы крепи, что обеспечит минимальное нарушение сложившегося в окружающем массиве равновесия и способствует более устойчивому состоянию выработки в послеремонтный период.

Горно геологические условия на экспериментальном участке следующие. Угольный пласт m_4^0 сложного строения состоит из двух угольных пачек разделенных прослоем алевролита 0,02м. Мощность пласта 1,15-1,20м. Уголь пласта черный, крепкий, полосчатый, трещиноватый.

Непосредственной кровлей пласта является аргиллит темно-серый, комковатый, с разноориентированными плоскостями скольжения, слабый, перемятый, разбит многочисленными трещинами, не имеющий сцеплений по наслоению, средней крепости 2,2-2,8, мощность слоя 0,8-1,4м. Выше залегает аргиллит с мощностью 2,0-2,4м, серый, горизонтально-слоистый, с включениями обломков известняка и прослойками углей мощностью 0,07-0,15м, средней крепости $f=3$. Основная кровля пласта представлена алевролитом мощностью 2,0-2,5м серым, горизонтально-слоистым с прослоями сидерита, средней крепости $f=3,5-3,8$. Залегание пород спокойное, моноклиальное, слабоволнистое, угол падения колеблется в пределах 10° .

Грузовой ходок уклона пл. m_4^0 гор. 450м проведен под углом 10 град. площадью поперечного сечения $13,8 \text{ м}^2$ в свету до подрывки, шаг крепления 0,5м. В выработке расположен один рельсовый путь на колею 900 мм. Ширина выработки до перекрепления 3000 мм, после перекрепления – 4750 мм, высота 2400 мм, 3440 мм – соответственно. Работы по ремонту велись в направлении сверху-вниз. Подрывка пород почвы и перестилка рельсового пути не проводились.

Состояние выработки до проведения ремонта приведено на рис. 6.



Рис. 6 Общий вид грузового ходка уклона пл. m_4^0 гор. 450 м до перекрепления

Согласно разработанному паспорту перекрепления грузового ходка уклона пл. m_4^0 гор. 450 м на экспериментальном участке в кровлю были пробурены шпуров диаметром 42 мм с расстоянием между шпуров 0,5 м в поперечном сечении выработки и с шагом 1,0 метр вдоль выработки. Глубина шпуров - 2 метра. Приготовленный согласно [7] раствор НРВ-80 при помощи специального шприца нагнетался в полиэтиленовые ампулы. В каждый шпур помещалось по две ампулы с фиксацией в донной части шпура забойкой.



Рис. 7. Общий вид кровли грузового ходка уклона пл. m_4^0 гор. 450 м после демонтажа деформированной рамы крепи на экспериментальном участке

Анализ состояния грузового ходка уклона пл. т₄ гор. 450 м во время перекрепления показал, что при демонтаже деформированных рам крепи на экспериментальном участке не произошло ни одного вывала из запроектного контура высотой более 0,35м, при этом средняя высота вывалов на экспериментальном участке составила 0,27м, в то время как на контрольном участке максимальная высота вывала составила 0,50м, а средняя высота вывалов – 0,35м.

Таким образом, разработан новый способ повышения несущей способности разрушенных горных пород, основанный на их сжатии, проведены его лабораторные и аналитические исследования, что позволило определить рациональные параметры способа. Проведенные промышленные испытания разработанного способа в условиях ОП «Шахта «Добропольская»» при перекреплении грузового ходка уклона пл. т₄⁰ гор. 450 м подтвердили его работоспособность.

Литература

1. Черняк И. Л. Упрочнение пород в подготовительных выработках / И. Л. Черняк – М.: Недра, 1993. - 256 с.
2. Заславский Ю.З. Инъекционное упрочнение горных пород / Ю.З. Заславский, Е.А. Лопотухин, Е.Б. Дружко, И.В. Качан. - М.:Недра, 1984. - 176 с.
3. Сонин С.Д. Борьба с пучением почвы горных выработок взрыванием камуфлетных зарядов / Сонин С.Д., Шейхет М.Н., Черняк И.Л. // Шахтное строительство. - 1961. - №3. - С. 8-10.
4. Мельников Н.И. Анкерная крепь / Н.И. Мельников – М.: Недра, 1980. 252 с.
5. Пат. № 51574, МПК(2009) E21D 11/00 Спосіб зміцнення гірських порід / 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. – 5с.:ил.

6. Сахно И.Г. Лабораторные исследования явления передачи давления от саморасширяющегося состава мелкофракционным дискретным материалом / И.Г. Сахно // Проблеми гірського тиску. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. - №17. С. 180-191.

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, 2007-14с.

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

9. Сахно И.Г. Лабораторные исследования особенностей работы невзрывчатых разрушающих веществ при фиксированном сопротивлении их объемному расширению / И.Г. Сахно // Проблеми гірського тиску. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. - №18. С. 132-146.

10. Касьян Н.Н. Особенности передачи давления, от стенок шпура, содержащего невзрывчатый разрушающий материал, вглубь породного массива / Н.Н. Касьян, И.Г. Сахно, Я.О. Шуляк // Збірник наукових праць національного гірничого університету. Днепропетровск: НГУ, – 2010. №34. т.1 – С. 136-143.