

Анализ графиков смещений глубинных реперов в боковых скважинах, (см. рис. 5) показывает, что через 11 суток смещения боков 40 мм (70% от конечной величины смещений). В глубине массива, разрушения произошли за пределами укрепленной области (на участке скважины 1,8-3,0 м). Размер зоны неупругих деформаций составил более 3,0 м. К моменту окончания наблюдений (67 суток) смещения боков составили 57 мм. Выдавливания пласта и его непосредственной почвы не наблюдалось (рис.6). Состояние крепи и вмещающих пород на контуре устойчивое (рис. 7).



Рис. 6. Состояние пласта и непосредственной почвы в боку выработки



Рис. 7. Состояние выработки к моменту окончания ее проведения

В настоящее время положительный опыт применения комбинированного крепления при поддержании монтажных ходков используется и на других шахтах ГП «Добропольеуголь».

Список литературы

1. Новиков А.О. О деформировании кровли в монтажных печах с анкерным креплением / Новиков А.О., Касьян Н.Н., Гладкий С.Ю. // Горный информационно-аналитический бюллетень // Московский государственный горный университет. – М.: 2009. – №5. – С. 78-84.
2. Новиков А.О. Наблюдения за деформированием контура в монтажном ходке с анкерной крепью./ Новиков А.О., Гладкий С.Ю., Шестопапов И.Н.// Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. – №34, Т. 2. – С. 96-100.

Рукопись поступила в редакцию 17.03.13

УДК 666.9.015, 622.063.23

И.Г. САХНО, канд. техн. наук, доц., Н.Н. КАСЬЯН, д-р техн. наук, проф.,
Донецкий национальный технический университет

НАПРАВЛЕННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД НЕВЗРЫВЧАТЫМИ РАЗРУШАЮЩИМИ СМЕСЯМИ

Предложен способ создания магистральной трещины в породном массиве с помощью патрона невзрывчатой разрушающей смеси. Проведено численное моделирование изменения напряженно-деформированного состояния модели при квазистатическом внутришпуровом давлении от саморасширения НРС для предлагаемого способа направленного разрушения. Получена, степенная зависимость коэффициента концентрации растягивающих напряжений на стенках шпура от зазора между элементами оболочки патрона НРС.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В практике ведения горных работ одной из актуальных задач является разрушение горных пород в заданном направлении. При взрывном способе разрушения эта задача решается применением кумулятивных зарядов, а также компенсационных вставок в шпуры и скважины. Однако взрывное воздействие приводит к разрушению околошпуровой области, развитию естественных и образованию новых микро - и макротрещин в массиве, увеличение длины которых приводит к накоплению дефектов в кристаллической структуре пород. При добыче штучного камня увеличение плотности макротрещин приводит к негативным последствиям, уменьшающих выход товарной продукции. При динамическом разрушении горных пород на контуре подземных выработок развитие трещин приводит к снижению прочности и интенсификации смещений пород.

Одним из возможных направлений решения проблемы разупрочнения пород при их разрушении является применение статических методов разрушения. В настоящее время разработано множество направлений невзрывного разрушения, в частности, механические методы (клиновой, гидроклиновой, алмазно-канатное пиление, камнерезные буровые установки и комбайны),

методы основанные на энергии жидкости (гидродинамический, физико-химический импульсный разрыв, гидроудар, гидрорезание, флюидоразрыв), тепловые (терморезка), электрические и электромагнитные (взрывание электрических проводников, электрической пробой, тепловой пробой, токами высокой частоты, плавлением, лазерным излучением, электромагнитным излучением), комбинированные методы. Промышленные масштабы применения в настоящее время имеют только механические методы. Остальные методы находятся на стадии научно-исследовательских и проектных разработок. Их промышленное использование сдерживается отсутствием оборудования, малой надежностью, высокой энергоемкостью, опасным воздействием на человека, высокой стоимостью. Эти недостатки вынуждают искать пути создания дешевых и перспективных способов разрушения прочных горных пород.

Перспективным направлением статического разрушения горных пород является использование невзрывчатых разрушающих смесей (НРС). Опыт применения НРС в гражданском строительстве для разрушения несущих элементов и конструкций демонтируемых и реконструируемых объектов, а также в практике добычи блочного камня подтверждает перспективность способа. Однако известные решения в области разрушения пород с помощью НРС не позволяют создавать магистральную трещину и поддерживать ее рост в требуемом направлении.

Анализ исследований и публикаций. Известные способы разрушения невзрывчатыми смесями включают бурение шпуров для размещения состава, приготовление рабочей смеси НРС с водой и заполнение ею шпуров [1], в ряде способов в пробуренные в материале шпуры (или скважины) помещают НРС, и затем подают в шпуры воду, смешиваясь с которой НРС увеличивает свой объем и создает за счет этого статические напряжения в материале, которые разрушают его [2].

Использование этих способов позволяет получить разрушение объекта по линиям наименьшего сопротивления, ориентация которых в большинстве случаев определяется структурными неоднородностями материала, имеющими случайный характер распределения. При разрушении с помощью НРС давление на стенки шпура одинаковое во всех направлениях, поэтому сложно исключить нежелательное разрушение пород, по плоскостям не совпадающим с рядами шпуров, или появление дополнительных трещин на стенках шпура, не совпадающих с магистральным направлением. То есть сложно обеспечить направленное разрушение за счет роста магистральной трещины. Создание направленного разрушения путем сокращения расстояния между шпурами с НРС приводит к повышению трудоемкости работ и расхода материалов.

Постановка задачи. Задачей исследований была разработка способа направленного разрушения пород с помощью НРС и его исследование. Идея, лежащая в основе способа направленного разрушения заключалась в создании на стенках шпура концентраторов напряжений в требуемом месте. При этом учитывая, что прочность горных пород на растяжение намного меньше прочности на сжатие, для задания направленного разрушения эффективней создавать зоны концентрации растягивающих напряжений. Реализация указанной идеи осуществляется в способе разрушения горных пород невзрывчатыми разрушающими составами [3], включающем бурение шпуров, для размещения состава, приготовление рабочей смеси невзрывчатого разрушающего состава с водой, при этом, невзрывчатый разрушающий состав помещают в полости патрона невзрывчатого разрушающего состава, патрон размещают в шпур, на стенках которого создают концентраторы растягивающих напряжений в одном из диаметральных направлений шпура.

Способ реализуется с помощью патрона невзрывного разрушающего состава, который содержит водонепроницаемую оболочку, внутри которой помещена невзрывная разрушающая смесь, согласно изобретению водонепроницаемая оболочка патрона выполнена не менее чем из двух половин трубы, полученных продольным диаметрально разрезом, каждая из которых имеет глухой торец. Помещение невзрывчатого разрушающего состава в шпур в патронах обеспечивает при увеличении объема НРС в процессе его гидратации, возникновение в разрушаемом объекте, в одном из диаметральных направлений шпура повышенных растягивающих напряжений, при превышении которыми предела прочности материала на растяжение происходит разрыв связей в материале и начинается рост магистральной трещины от стенок шпура вглубь массива, при этом предотвращается разрушение материала в направлениях не совпадающих с направлением магистральной трещины.

Изложение материала и результаты. Изучение механизма образования трещины в породах было проведено путем анализа распределений напряжений вблизи шпура с НРС. Исследо-

вание проводили с помощью численного математического моделирования методом конечных элементов. Решалась объемная задача в нелинейной постановке.

Моделировался участок массива, представленный песчаником с пределом прочности на одноосное сжатие 80МПа, вмещающий шпур с НРС. Рост давления саморасширения НРС задавался путем пошагового повышения нагрузки с сохранением результатов предыдущего шага решения, то есть время задавалось неявно. Исходные данные для моделирования были взяты из кадастра физических свойств горных пород. Для проведения сравнения моделировали два случая - вариант 1- помещение НРС непосредственно в шпур и вариант 2 - помещение НРС в патроне. Патрон моделировали материалом со свойствами стали СТ 3.

В работе в качестве рабочей была принята первая теории прочности. Теория наибольших нормальных напряжений, представляет собой гипотезу о том, что опасное состояние материала наступает, когда какое-либо из главных напряжений достигает опасного значения. В соответствии с этим при расчетах на прочность ограничивается величина наибольших главных напряжений, которая не должна превышать допустимого нормального напряжения $[\sigma]$, устанавливаемого из опыта на одноосное растяжение и сжатие.

Так как, для исследуемого материала допустимые напряжения на растяжение $[\sigma_p]$ и на сжатие $[\sigma_c]$ различны, то условие прочности выражается в виде

$$\sigma_1 \leq [\sigma_p]; \quad |\sigma_3| \leq [\sigma_c] \}$$

Результаты моделирования представлены на рисунках 1,2 в виде картин распределения наибольших σ_1 и наименьших σ_3 главных напряжений соответственно для варианта 1 и варианта 2.

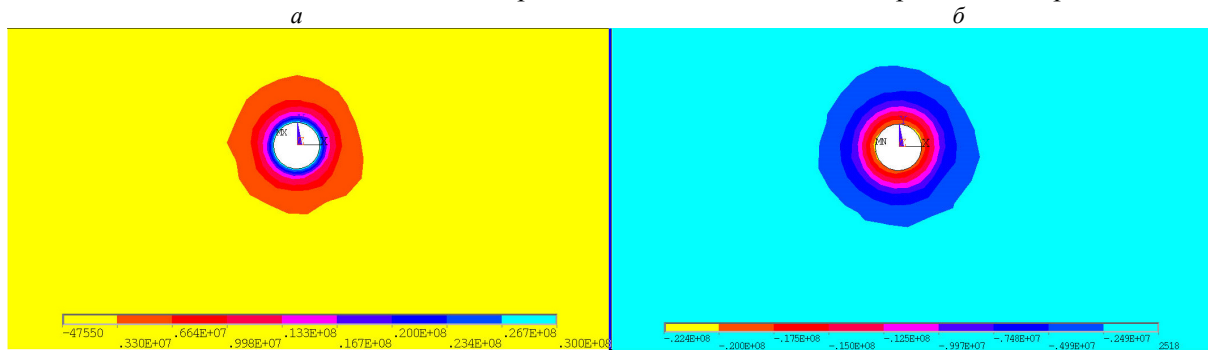


Рис. 1. Картины распределения наибольших σ_1 (а) и наименьших σ_3 (б) главных напряжений в модели при помещении НРС непосредственно в шпур и давлении саморасширения 30 МПа

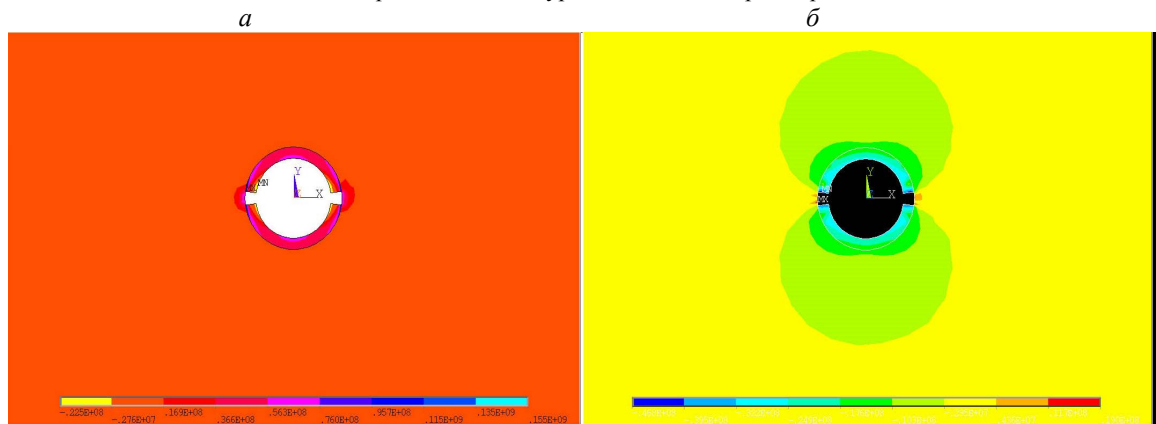


Рис. 2. Картины распределения наибольших σ_1 (а) и наименьших σ_3 (б) главных напряжений в модели при помещении НРС шпур в патроне с зазором между элементами патрона 6мм, и давлении саморасширения 30 МПа

Результаты моделирования в виде графиков изменения наибольших σ_1 и наименьших σ_3 главных напряжений, по мере удаления от стенки шпура по линии предполагаемого разрушения для приведенных выше случаев представлены на рис. 3.

Анализ рис. 1-3 показывает, что использование предложенных патронов НРС приводит к изменению характера распределения напряжений в околошпуровой области. Так, главные растягивающие напряжения, в первом случае, распределены равномерно вокруг шпура, что не по-

зволяет управлять направлением разрушения, во втором - главные растягивающие напряжения возникают между элементами оболочки патрона, а в остальной области они не возникают.

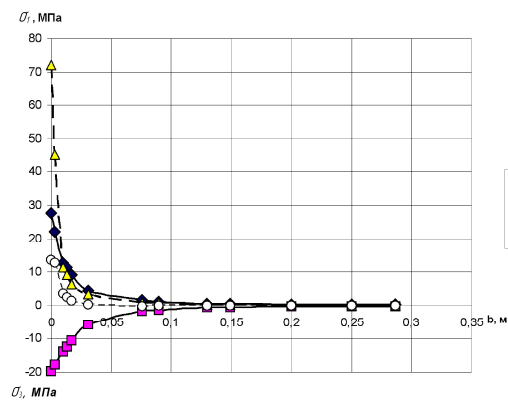


Рис. 3. Графики распределения наибольших σ_1 и наименьших σ_3 главных напряжений в модели по линии разрушения при давлении саморасширения 30 МПа: 1,2 - при помещении НРС непосредственно в шпур; 3,4 - при помещении НРС шпур в патроне с зазором между элементами патрона 6 мм

Поскольку растягивающие напряжения более опасны для разрушения песчаника пределы прочности на сжатие и растяжение которого отличаются на порядок, можно утверждать, что неконтролируемого разрушения при использовании патронов не будет. Кроме того, наибольшие главные напряжения σ_1 являются растягивающими в обоих случаях, но при использовании патронов абсолютная величина их в 2,9 раза больше, и превышает в 10 раз предел прочности породы на растяжение. Наименьшие главные напряжения σ_3 в первом случае сжимающие, и по величине не превышают предела прочности на сжатие. А при применении патронов наименьшие главные напряжения - растягивающие, а их абсолютная величина превышает предел прочности породы на растяжение. Таким образом, можно сделать вывод, что применение патронов НРС приводит к возникновению критического состояния в породе в требуемом месте, в то время как остальная область экранирована от растягивающих напряжений.

Одним из важнейших параметров предлагаемого способа является зазор между элементами оболочки патрона. Для выяснения влияния этого параметра были проведены исследования в которых зазор между элементами оболочки патрона изменяли в диапазоне 2-12 мм. В результате проведенных исследований получили распределение главных напряжений вокруг шпура содержащего патрон НРС. В качестве критерия увеличения напряжений при применении предлагаемого способа направленного разрушения целесообразно ввести коэффициент концентрации напряжений, равный отношению максимальных главных напряжений возникающих в модели с патроном к максимальным главным напряжениям для модели имитирующей помещение НРС непосредственно в шпур. График изменения коэффициента концентрации напряжений в зависимости от расстояния между элементами оболочки патрона представлен на рис. 4.

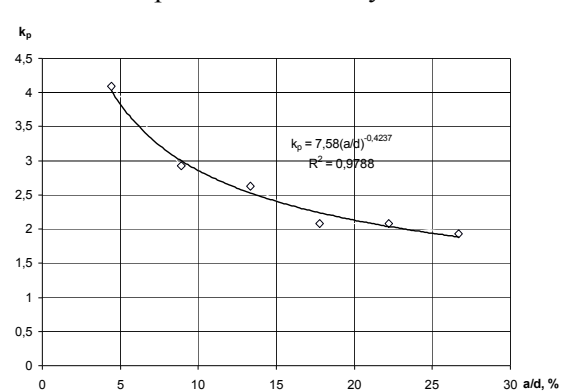


Рис. 4. График изменения коэффициента концентрации растягивающих напряжений на контуре шпура в зависимости от расстояния между элементами оболочки патрона НРС относительно диаметра шпура

Проведенные исследования показали, что при диапазоне зазора 4-27 % от диаметра шпура, коэффициент концентрации растягивающих напряжений удовлетворительно описывается степенной зависимостью вида $k_p = 7,58(a/d)^{-0,4237}$. Таким образом, с помощью использования патронов можно повысить растягивающие напряжения в требуемом месте до 4 раз.

Проведенные ранее исследования [4] показали что разрушение материалов с помощью НРС происходит в 2 стадии, на первой стадии накопление повреждений и прорастание трещины, на второй стадии развитие трещины. Таким образом, из проведенного анализа видно, что опасное состояние в породе возникает по линии ориентации зазоров в патроне, что приводит к образованию магистральной трещины отрыва, развитие которой обеспечивается за счет приложения усилий к ее берегам при саморасширении НРС и смещении оболочек патрона нормально плоскости трещины.

Выводы и направления дальнейших исследований. В результате проведенных исследований были выявлены особенности изменения распределения напряжений вокруг шпура содержащего патрон НРС. Показано, что в этом случае неконтролируемого разрушения пород не будет, а управлять направлением роста магистральной трещины можно путем ориентации зазоров между

элементами оболочки патрона НРС. Получена, степенная зависимость коэффициента концентрации растягивающих напряжений от зазора между элементами оболочки патрона НРС.

Список литературы

1. 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.
2. Заявка 57-136954, Япония, МКИ В 02 С 19/18. Средство для разрушения каменных материалов, в том числе бетона / Нисихара Акио, Мива Мотому, Тада Сюти; Асахи дэнка коге к. к., №56-23509 заявл. 19.02.81, опубл. 24.08.82.
3. Пат. вин. № 100062, МПК (2006.01) E21C 37/06 Спосіб руйнування гірських порід невибуховими руйнуючими складами й патрон для його реалізації / **І.Г. Сахно, М.М. Касьян** (Україна). – а2011 00476; заявл. 17.01.2011, опубл. 12.11.2012, бюл. № 21. – 5с.:ил
4. **Сахно, І.Г.** Обоснование параметров разрушения горных пород с помощью невзрывчатых разрушающих составов / **І.Г. Сахно** // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук.праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 93. С. 245-253.

Рукопись поступила в редакцию 22.03.13

УДК 622.281

И.Н. ШЕСТОПАЛОВ, ассистент ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАМНО-АНКЕРНОЙ КРЕПИ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИХ ШАХТ

В статье описаны результаты лабораторных, шахтных и аналитических исследований, направленных на обоснование параметров рамно-анкерной крепи, а также результаты промышленных испытаний предложенных рекомендаций по креплению выработок комбинированной крепью.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Металлические рамные крепи, ввиду значительного разнообразия их конструкций и значительного диапазона рабочих характеристик, в настоящее время стали фактически универсальным средством крепления горных выработок. В настоящее время более 90 % поддерживаемых выработок закреплено рамными крепями. Однако, в связи с неуклонным ростом глубины, а также усложняющимися горно-геологическими условиями отработки угольных пластов, до 30 % выработок, закрепленных рамными крепями, в процессе эксплуатации ремонтируются, что повышает себестоимость угля. Кроме того, металлические рамные крепи имеют ряд недостатков: высокая металлоемкость, низкая степень механизации процесса ее установки, и, как следствие, ограничение темпов проведения.

Одним из перспективных направлений, позволяющих устранить вышеуказанные недостатки, является широкое внедрение комбинированных рамно-анкерных крепей. Опыт их применения на шахтах Украины показывает, что при этом на 30-80 % снижается расход металла (достигается за счет увеличения шага крепи в выработке и применения облегченных профилей рамной крепи), повышается в 1,5-2,0 раза производительность работ при креплении выработок

Однако всего 4 % от общей протяженности поддерживаемых выработок закреплено данным видом крепи. Основной причиной, сдерживающей широкое использование комбинированных крепей, является недостаточная изученность влияния образуемых породно-анкерных конструкций на механические процессы, происходящие во вмещающем выработки массиве. Это, в свою очередь, не позволяет понять роль каждой из конструкций в процессе поддержания выработки, достоверно установить область применения крепей, а также разработать научно обоснованный метод расчета их параметров.

В этой связи, проведение исследований, направленных на обоснование рациональных параметров комбинированных рамно-анкерных крепей, обеспечивающих при минимальном расходе крепежных материалов устойчивое состояние выработки, является актуальной научной задачей.

Анализ основных исследований и публикаций. В научно-технической литературе представлено большое количество исследований, посвященных изучению характера взаимодействия комбинированных крепей с массивом (как отечественных исследователей, так и зарубежных). Проведенный анализ работ, посвященных изучению взаимодействия комбинированной