

sions around the extraction chamber in steep ore deposit before drilling and blasting will allow us to substantiate adjustment parameters of drilling and blasting, location of mining holes and conditions of their drilling. This will improve the efficiency of blasthole charges.

Practical value. We can improve the efficiency of blasthole charges during breaking ground, reduce the

consumption of explosives and blasting agents, improve the quality of ore and performance of loading and transport facilities.

Keywords: *stressed state, rock block, chamber, drilling and blasting, method of photoelasticity, numeral modeling*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.М. Шахно. Дата надходження рукопису 12.04.13.

УДК 622.063.23, 666.9.015

И.Г. Сахно, канд. техн. наук, доц.

Государственное высшее учебное заведение „Донецкий национальный технический университет“, г. Донецк, Украина, e-mail: sahno_i@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА НАПРАВЛЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД НЕВЗРЫВЧАТЫМИ РАЗРУШАЮЩИМИ СМЕСЯМИ

I.G. Sakhno, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

State Higher Educational Institution “Donetsk National Technical University”, Donetsk, Ukraine, e-mail: sahno_i@mail.ru

STUDY OF THE MECHANISM OF THE DIRECTED DESTRUCTION OF ROCK BY NON-EXPLOSIVE DESTROYING MIXTURES

Цель. Разработка и исследование нового статического способа направленного разрушения горных пород, основанного на создании при помощи специального патрона на стенках шпура концентраторов растягивающих напряжений. Рост напряжений обеспечивается за счет увеличения в объеме невзрывчатой разрушающей смеси, помещенной в патрон.

Методика. В работе предложен способ направленного разрушения и устройство для его реализации. С помощью метода конечных элементов проведено исследование напряженно-деформированного состояния разрушаемого предложенным способом объекта. Получены зависимости коэффициента концентрации растягивающих напряжений на стенках шпура от конструктивных размеров патрона. На основании проведенных аналитических исследований с использованием решений классической теории упругости, а также теории разрушения Гриффитса-Ирвина, в работе предложена методика расчета параметров способа направленного разрушения.

Результаты. Получен положительный эффект от применения предлагаемого способа в лабораторных условиях. Проведена опытно-промышленная проверка предложенных технических решений при направленном разрушении блоков гранита с прочностью на одноосное сжатие 6–16 МПа в условиях Хлебодаровского рудоуправления.

Научная новизна. Впервые предложен способ направленного разрушения горных пород невзрывчатыми разрушающими смесями, исследована физика процесса и определены его параметры.

Практическая значимость. Заключается в том, что использование предложенного способа разрушения позволяет обеспечить направленное разрушение пород любой прочности при исключении динамического воздействия на массив. Применение предложенного способа позволит управлять местом возникновения и траекторией роста магистральной трещины.

Ключевые слова: *разрушение горных пород, невзрывчатая разрушающая смесь, саморасширение, напряжения*

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Вопрос совершенствования технологий безопасного и управляемого разрушения горных пород находится в центре внимания ученых многих стран. Одним из перспективных направлений безопасного разрушения является применение статических методов. Наиболее изученными являются механические методы (клиновой, гидроклиновой, алмазно-канатное пиление, камнерезные буровые установки и комбайны), электротермические (тепловой пробой, диэлектрический нагрев, разрушение сверхвысокими частото-

тами, разрушение в стоячей электромагнитной волне), методы, основанные на энергии жидкости (гидродинамический, физико-химический импульсный разрыв, разрядно-импульсное разрушение, гидроудар, гидрорезание, флюидоразрыв) и электромагнитные (взрывание электрических проводников, электрический пробой, плавление лазерным излучением, электромагнитным излучением).

Промышленные масштабы применения в горной практике получили только механические методы. Остальные методы находятся на стадии научно-исследовательских и проектных разработок. Их промышленное использование сдерживается отсутствием специального 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.

Одним из современных направлений статического разрушения горных пород является использование невзрывчатых разрушающих смесей (НРС). Перспективность направления подтверждается положительным опытом применения НРС в гражданском строительстве для разрушения несущих элементов и конструкций, демонтируемых и реконструируемых объектов, а также при добыче блочного камня.

В практике ведения горных работ одной из актуальных задач является разрушение горных пород в заданном направлении.

Анализ последних исследований и публикаций.

Технология разрушения с помощью НРС была разработана в Японии, где с 1980 г. по настоящее время создано более двух десятков невзрывчатых разрушающих составов для практического применения на открытых и подземных предприятиях [1, 2]. В 80-е годы Государственным Всесоюзным научно-исследовательским институтом строительных и стеновых конструкций им. П.П. Будникова также было предложено несколько невзрывчатых разрушающих составов и разработаны рекомендации по их применению. На сегодняшний день в мире известно более 100 различных композиций НРС.

Известные способы разрушения невзрывчатыми смесями включают бурение шпуров и заполнение их приготовленной рабочей смесью НРС с водой [3], или размещение сухого НРС в пробуренных шпурах с последующей подачей воды [2]. В результате гидратации порошок НРС увеличивает свой объем и создает за счет этого статические напряжения на стенки шпура, рост которых приводит к разрушению пород.

Совершенствование известных способов, в основном, направлено на разработку новых составов или улучшение технологии приготовления смеси.

Нерешенная часть проблемы. При использовании существующих технологических решений разрушения с помощью НРС в процессе гидратации смеси создается одинаковое во всех направлениях давление на стенки шпура. При этом места образования трещин и пути их развития определяются структурными ослаблениями и неоднородностями пород, имеющими случайный характер распределения по объему. Поэтому сложно исключить нежелательное разрушение по плоскостям, не совпадающим с рядами шпуров, или появление дополнительных трещин на стенках шпура, не совпадающих с магистральным направлением.

Постановка задачи. Таким образом, известные способы разрушения пород с помощью НРС не позволяют обеспечить направленное разрушение путем создания магистральной трещины и поддержания ее роста в требуемом направлении при сохранении сплошности остальной части массива.

Поэтому задачей исследований была разработка и исследование способа направленного разрушения

пород с помощью НРС. Идея, лежащая в основе предлагаемого способа направленного разрушения, заключается 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 обеспечения направленного разрушения эффективней создавать зоны концентрации растягивающих напряжений.

Реализация указанной идеи осуществляется в способе разрушения горных пород невзрывчатыми разрушающими составами [4], включающем бурение шпуров для размещения состава, приготовление рабочей смеси НРС, помещение ее в полости патрона, установку патрона в шпур. Патрон представляет собой водонепроницаемую оболочку, внутрь которой помещена НРС. Водонепроницаемая оболочка патрона выполнена не менее чем из двух половин трубы (элементов), полученных продольным диаметральной 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 создаются условия для роста магистральной трещины от стенок шпура вглубь массива. При этом предотвращается разрушение материала в направлениях, не совпадающих с направлением магистральной трещины.

Основной материал исследований. Изучение механизма образования трещины в породах проводилось путем анализа распределений напряжений вокруг шпура с НРС. Исследование проводили с помощью численного математического моделирования методом конечных элементов. Решалась объемная задача в нелинейной постановке.

Моделировался участок массива, представленный песчанником с пределом прочности на одноосное сжатие 80 МПа, пределом прочности на одноосное растяжение 8 МПа, вмещающий шпур с НРС диаметром 45 мм. 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; вариант 2 – помещение НРС в патроне. Патрон моделировали материалом со свойствами стали СТ 3.

В качестве рабочей была принята первая теория прочности. Так как для исследуемого материала допустимые напряжения на растяжение $[\sigma_p]$ и на сжатие $[\sigma_c]$ различны, то условие прочности выражается в виде

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_1 \leq [\sigma_p] \\ |\sigma_3| \leq [\sigma_c] \end{array} \right\}. \quad (1)$$

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



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

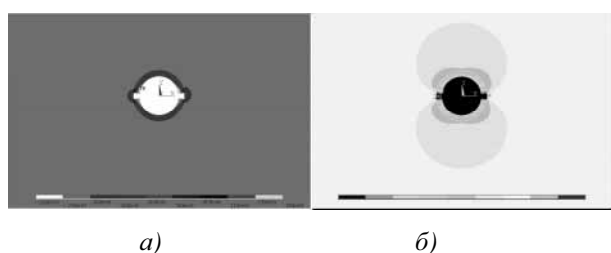


Рис. 2. Картины распределения главных напряжений σ_1 (а) и σ_3 (б) в модели при помещении НРС в шпур в патроне с зазором между элементами патрона 6 мм и давлении саморасширения 30 МПа

Результаты моделирования в виде графиков изменения алгебраически 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 предложенного способа направленного разрушения приводит к изменению характера распределения напряжений в околошпуровой области. Максимальные главные напряжения σ_1 и σ_3 возникают на стенках шпура. Главные напряжения σ_1 в первом случае во всей модели являются растягивающими или равны нулю; повышенные напряжения распределены равномерно вокруг шпура. По абсолютной величине максимальное значение σ_1 равно 27,7 МПа на стенках шпура, то есть в 3,4 раза превышают предел прочности песчаника на растяжение. Равномерное распределение напряжений создает условия для образования трещины на стенках шпура (1) по линии наименьшего сопротивления с учетом локальных ослаблений, что не позволяет управлять направлением разрушения. Во втором случае напряжения σ_1 в теле модели как растягивающие, так и сжимающие. Между элементами оболочки патрона σ_1 являются растягивающими, по абсолютной величине максимальное значение σ_1 равно 72,1 МПа на стенках шпура по линии направленного разрушения, то есть в 9 раз превышают предел прочности песчаника на растяжение. На стенках шпура за границей зоны влияния

зазора между элементами патрона НРС σ_1 являются сжимающими. Таким образом, можно утверждать, что неконтролируемого разрушения при использовании патронов не будет. Кроме того, наибольшие главные напряжения σ_1 при использовании патронов по абсолютной величине в 2,6 раза больше, чем при помещении НРС непосредственно в шпур.

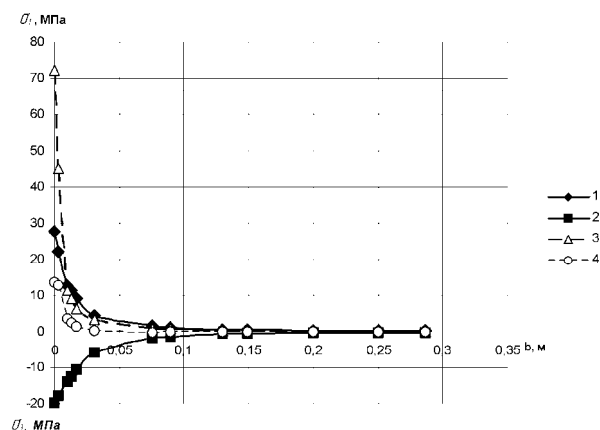


Рис. 3. Графики распределения главных напряжений σ_1 и σ_3 в модели по линии разрушения при давлении саморасширения 30 МПа на расстоянии от стенки шпура r , м: 1, 2 – при помещении НРС непосредственно в шпур; 3, 4 – при помещении НРС шпур в патроне с зазором между элементами патрона 6 мм

Главное напряжение σ_3 в первом случае во всей модели являются сжимающими или равны нулю. Повышенные напряжения распределены равномерно вокруг шпура по абсолютной величине, максимальное значение σ_3 равно 19,6 МПа на стенках шпура, что в 4 раза меньше предела прочности песчаника на сжатие. То есть, условия (1) для разрушения от сжатия не возникают.

При применении патронов характер распределения σ_3 совпадает с характером распределения σ_1 . Между элементами оболочки патрона σ_3 являются растягивающими, по абсолютной величине максимальное значение σ_3 равно 13,5 МПа на стенках шпура по линии направленного разрушения. На стенках шпура за границей зоны влияния зазора между элементами патрона НРС σ_3 являются сжимающими (максимальное значение 17,6 МПа). Условия (1) для разрушения от сжатия также не возникают.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение патронов НРС приводит к изменению картины распределения напряжений вокруг шпура с НРС, возникновению критического состояния в породе в требуемом месте, в то время как остальная область экранирована от растягивающих напряжений. При этом наибольшие главные напряжения $\sigma_{I(n)}$, при использовании патронов с зазором между элементами 6мм, по абсолютной величине в 2,6 раза больше, чем при помещении НРС непосредственно в шпур, и в 9 раз больше предела прочности на растяжение породы.

Проведенные ранее исследования [5] показали, что разрушение материалов с помощью НРС происходит в 2 стадии: на первой стадии развитие критических напряжений в породе, накопление повреждений и прорастание трещины; на второй стадии – развитие трещины. Из проведенного анализа видно, что при применении предлагаемого способа направленного разрушения 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 относительно плоскости трещины.

Расстояние между шпурами в предлагаемом способе целесообразно определять с позиций энергетической теории разрушения Гриффитса-Ирвина. Пользуясь указанной теорией, получена формула

$$a \leq \frac{3k_{\sigma_1} \cdot P(t)^2 \cdot \pi \cdot r_0^2 E_M}{4E_{НРС} \cdot K_I^2} (1 - 2\mu_{НРС}), \quad (2)$$

где k_{σ_1} – коэффициент концентрации растягивающих напряжений на стенках шпура; $P(t)$ – квазигидростатическое давление саморасширения НРС через заданное время t , МПа; r_0 – радиус шпура, м; E_M – модуль упругости породы, МПа; $E_{НРС}$ – модуль упругости НРС, может быть принят $4 - 6 \cdot 10^3$, МПа; K_I – коэффициент интенсивности напряжений, МПа ($\sqrt{м}$); $\mu_{НРС}$ – коэффициент Пуассона НРС, может быть принят 0,25.

Значения $P(t)$ определяются экспериментально для конкретно применяемого типа НРС, а также заданных горно-геологических условий путем испытания пробы НРС из полученной партии на специальном стенде [6].

Коэффициент концентрации растягивающих напряжений на стенках шпура k_{σ_1} равен отношению максимальных главных напряжений $\sigma_{1(n)}$, возникающих в модели с патроном, к максимальным главным напряжениям $\sigma_{1(w)}$ для модели, имитирующей помещение НРС непосредственно в шпур. Поскольку напряжения $\sigma_{1(w)}$ при помещении НРС в шпур примерно равны давлению саморасширения НРС $P(t)$, целесообразно принимать

$$k_{\sigma_1} = \frac{\sigma_{1(n)}}{P(t)}.$$

Проведенные с помощью МКЭ исследования по описанной выше методике показали, что при изменении зазора между элементами патрона a , в диапазоне 4–27% от диаметра шпура d , коэффициент концентрации растягивающих напряжений удовлетворительно описывается степенной зависимостью вида

$$k_{\sigma_1} = 1,078 \left(\frac{a}{d} \right)^{-0,424}. \quad (3)$$

Таким образом, с помощью предлагаемого способа можно повысить растягивающие напряжения в требуемом месте до 4 раз по сравнению с помещением НРС непосредственно в шпур.

Проверку описанного способа проводили в лабораторных условиях при разрушении гипсовых плит. Для этого в плитах бурили отверстия диаметром 27 мм с оставлением в донной части недобуренных пробок 10 мм, в которые помещали НРС непосредственно в шпур и в патронах. Патроны представляли собой две половины пластиковой тонкостенной трубы, полученные продольным диаметрально разрезом. Устьевую часть отверстий герметизировали гипсом. Общий вид разрушенных плит, при заливке НРС непосредственно в отверстие и при помещении ее в патрон, приведен на рис. 4.

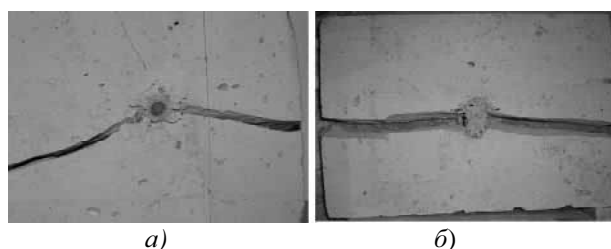


Рис. 4. Разрушенные гипсовые плиты при помещении НРС непосредственно в шпур (а) и в патроне с зазором между элементами патрона 2 мм (б)

Анализ характера разрушения показывает, что в первом случае в плите образовались две крупные и одна более мелкая трещины, вышедшие на границу плиты, которые разрушили ее на три части. У стенок шпура образовались также две более мелкие трещины, не „проросшие“ до границы плиты. При помещении НРС в патроне в плите образовалась одна магистральная трещина в направлении, совпадающем с заданным (заданное направление обозначено чертой на плите), которая разрушила плиту по длинной стороне на две части. Других трещин не возникло, околошпуровая область осталась не нарушенной. Таким образом, характер разрушения был разный. Проведенный эксперимент подтвердил работоспособность предложенного способа.

Испытание способа в натуральных условиях было проведено в условиях Хлебодаровского рудоуправления. Полезными ископаемыми месторождения являются интрузивные кристаллические породы, представленные гранитоидами (гранит порфировидный, гранит щелочной, аплит розовый), среди которых встречаются дайки лампрофира.

По 8 отобраным на карьере пробам предел прочности при сжатии в воздушно-сухом состоянии составлял 580–1634 (среднее значение – 946 кг/см²). В водонасыщенном состоянии – 528–984/ (среднее значение – 797 кг/см²).

Исследование направленного разрушения проводили на негабаритных блоках, в которых с помощью перфоратора бурили шпуров диаметром 40 мм. Затем готовили смесь НРС и помещали ее в патроны (рис. 5). После чего патроны с НРС устанавливали в шпуров. При этом длина шпуров принималась кратной длине патрона. Расстояние между шпуров рассчитывали, используя зависимости (2), (3).



Рис. 5. Заливка НРС в патроны

Невзрывчатую разрушающую смесь готовили на месте ведения работ. В качестве рабочего агента принимали порошок, содержащий оксид кальция – 92 мас.%, кальцинированную соду 6 мас.%, лигно-сульфонат технический модифицированный – 2 мас.%, который затворяли водой с добавкой 8% по массе пластификатора Sika BV 3M. Водотвердое соотношение составляло 0,3.

В результате протекания реакции гидратации и перекристаллизации смеси происходил рост структурных элементов НРС, сопровождающийся увеличением давления на элементы патрона. Это вызывало концентрацию растягивающих напряжений на стенках шпура в области зазоров между элементами патрона. При возникновении критических напряжений в блоке происходил рост магистральной трещины от стенок шпура вглубь массива и раскол блока по линии заданного разрушения.

На рис. 6 приведены результаты эксперимента по разрушению негабаритного блока размерами 600x350x550 мм с помощью предложенного способа направленного разрушения. Блок разрушен по длинной стороне одним шпуром с патроном НРС. На рисунке видно, что магистральная трещина проходит ровно по всему блоку, начинается от стенок шпура в местах зазора между элементами патрона НРС. Наблюдаемый механизм разрушения совпадает с механизмом, описанным выше.

Для сравнения характера разрушения блоков при заливке НРС непосредственно в шпур и при помеще-

нии НРС в шпур в патронах были проведены соответствующие эксперименты. На рис. 7 представлены результаты проведенных экспериментов.

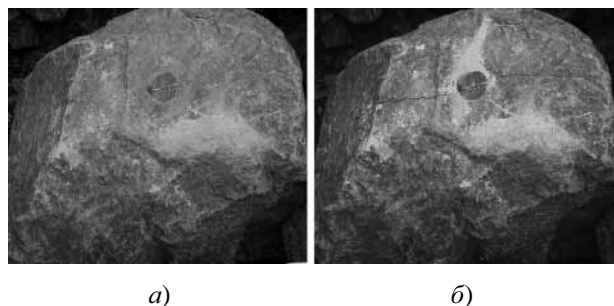


Рис. 6. Процесс направленного разрушения гранита: а) общий вид блока после установки патрона в шпур; б) общий вид блока после образования магистральной трещины

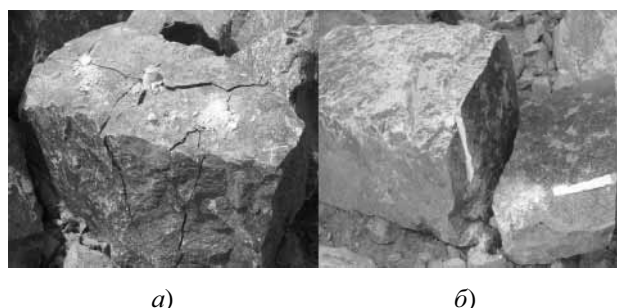


Рис. 7. Характер разрушения гранитных блоков: а) при заливке НРС непосредственно в шпур; б) при помещении в шпур патрона с НРС

Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы, что при заливке НРС непосредственно в шпур от его стенок образуется несколько разнонаправленных трещин (в основном – три), которые имеют различную траекторию роста. И даже при ряде шпуров, пробуренных по необходимой линии разрушения (на рис. 7, а – три шпура по длинной стороне блока), обеспечить разрушение в требуемом направлении удастся не всегда. При использовании патронов всегда образуется магистральная трещина в требуемом направлении (рис. 7, б). Это позволяет обеспечить направленное разрушение, исключив образование трещин в остальной части массива.

Выводы и перспективы дальнейших исследований:

1. Проведенные работы дают основания считать предложенный способ направленного разрушения прошедшим опытно-промышленную проверку.
2. Предложенная методика расчета параметров направленного разрушения с помощью НРС, апробированная при разрушении блоков гранита, позволяет рассчитывать паспорт буровых работ.
3. Дальнейшие исследования будут направлены на перенесение полученного опыта на решение задач направленного разрушения в условиях подземных горных выработок.

Список литературы / References

1. Заявка 57-187044, Япония, МКИ В 02 С 19/18. Средство для разрушения каменных материалов и бетона / Сайто Акира, Накатани Сэйити, Мива Акира, Аги Исао, Исакаи Дзюк; Дэнки кагаку коге к.к., № 56-71233; заявл. 12.05.81; опубл. 17.11.82.

Aitou Akira, Nakatani Seiichi, Miwa Akira, Yagi Isao, Isogai Jiyun (1982), Japanese Application Publication JP 57-187044, В 02 С 19/18. Crushing agent, Denki Kagaku Kogyo Kk., Priority JP (1981)-71233 A. 12.05.81, Published on 17.11.82.

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.

Nishihara Akio, Miwa Motomu, Tada Shiyuuichi (1982), Japanese Application Publication P 57-136954, В 02 С 19/18. Crushing agent; Asahi Denka Kogyo Kk., Priority Jp (1981)-23509 A. 19.02.81, Published on 24.08.82.

3. 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. – 14 с.

TTS У В.2.7-26.5-24478901-004:2007, (2007), Non-explosive destroying matter. Specification – instead of ТУ У БВ 2.7.00030937.089397. Without limitation of period of validity. GOSSTANDART, Kharkov Center of Standardization and Aerology, Kharkov, Ukraine.

4. 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. – 5 с.: ил.

I.G. Sakhno, M.M. Kasian, (2012), Pat. No.100062, МПК (2006.01) E21C 37/06 Method and cartridge for rock destruction with non-explosive destructive compositions. а2011 00476; application date Jan. 17, 2011, publication date Nov. 12, 2012; Bulletin no. 21. pp. 5.

5. Сахно И.Г. Обоснование параметров разрушения горных пород с помощью невзрывчатых разрушающих составов / И.Г. Сахно // Геотехническая механика: Міжвід. зб. наук. праць – 2011. – Вип. 93. – С. 245–253.

Sakhno, I.G. (2011), “Foundation of parameters of destruction of rock by inexplusive destroying compositions”, *Geotekhnichna mekhanika*, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics NAS of Ukraine. Dnepropetrovsk, Vol. 93. pp. 245–253.

6. Пат. № 60794, МПК(2011.01) G01L 1/10, E21C 37/00 Стенд для випробувань невибухових руйнуючих речовин / М.М. Касьян, І.Г. Сахно, (Україна) – u 2010 15412; заявл.20.12.2010; опубл. 25.06.2011; Бюл. № 12. – 6 с.: ил.

M.M. Kasian, I.G. Sahno, (2010), Pat. No. 60794, МПК (2011.01) G01L 1/10, E21S 37/00 Testbench for testing destructive non-explosives. U 2010 15412; appli-

cation date Dec. 20, 2010, publication date June 25, 2011; Bulletin no. 12, pp. 6.

Мета. Розробка й дослідження нового статичного способу спрямованого руйнування гірських порід, заснованого на створенні за допомогою спеціального патрона на стінках шпуру концентраторів розтягуючих напруг. Ріст напруг забезпечується за рахунок збільшення в об'ємі невибухової руйнуючої суміші, поміщеної в патрон.

Методика. У роботі запропонований спосіб спрямованого руйнування й пристрій для його реалізації. За допомогою методу кінцевих елементів проведено дослідження напружено-деформованого стану об'єкта, що руйнується запропонованим способом. Отримані залежності коефіцієнта концентрації напруг на стінках шпуру від конструктивних розмірів патрона. На підставі проведених аналітичних досліджень із використанням рішень класичної теорії пружності, а також теорії руйнування Гриффітса-Ірвіна, у роботі запропонована методика розрахунку параметрів способу спрямованого руйнування.

Результати. Отриманий позитивний ефект при дослідженні запропонованого способу в лабораторних умовах. Проведена дослідно-промислова перевірка запропонованих технічних рішень при спрямованому руйнуванні блоків граніту з міцністю на одноосьове стискання 6–16 МПа в умовах Хлібодарівського рудоуправління.

Наукова новизна. Уперше запропоновано спосіб спрямованого руйнування гірських порід невибуховими руйнуючими сумішами, досліджена фізика процесу й визначені його параметри.

Практична значимість. Полягає в тому, що використання запропонованого способу руйнування дозволяє забезпечити спрямоване руйнування порід будь-якої міцності при виключенні динамічного впливу на масив. Застосування запропонованого способу дозволить управляти місцем виникнення й траєкторією росту магістральної тріщини.

Ключові слова: руйнування гірських порід, невибуховий руйнуючий склад, саморозширення, напруги

Purpose. To develop and study a new static method of rock directed destruction based on the stretching tension concentrators creation on the walls of the hole by means of special cartridge. Growth of tensions is provided by the volume increase of the non-explosive destroying mixture placed in the cartridge.

Methodology. We offer the method of the directed destruction and the device for its realization. By the finite-element method we have studied the stressed state of the object destroyed by the suggested method. We have found the dependences between the coefficient of stretching tensions concentration on the walls of the hole and the structural dimensions of the cartridge. On the basis of the conducted analytical research, with the use of solutions of classic elastic theory and the Griffith-Irvin material failure theory, we suggest the method

of calculation of the parameters of the directed destruction method.

Findings. We have obtained positive effect from the use of the method in the laboratory. We have carried out the experimental-industrial pilot test of the proposed technical solutions aimed at the destruction of granite blocks with uniaxial compression strength of 6–16 MPa at Hlebodarovskoye Mining Administration.

Originality. For the first time, the method of directed rock breaking by non-explosive destroying mixtures was

proposed. Physics of the process and its parameters was studied.

Practical value. The use of the proposed method allows us to fulfill directed destruction of rocks of any strength without dynamic influences on the massif.

Keywords: *destruction of rock, destructive non-explosive, self-expansion, tensions*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук С.В. Підкопасвим. Дата надходження рукопису 17.04.13.

УДК 622.834

Г.В. Бабіюк, д-р техн. наук, проф.,
О.Г. Доценко

Государственное высшее учебное заведение „Донбасский государственный университет“, г. Алчевск, Украина,
e-mail: dotcenkoo@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СТАБИЛИЗАЦИИ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОЧВУ ОТРАБОТАННОГО ПЛАСТА

G.V. Babiyuk, Dr. Sci. (Tech), Professor,
O.G. Dotsenko

State Higher Educational Institution “Donbas State Technical University”, Alchevsk, Ukraine, e-mail: dotcenkoo@mail.ru

DETERMINATION OF THE TIME OF STABILIZATION OF ROCK PRESSURE ON THE WASTE SEAM FLOOR

Цель. Определение длительности стабилизации горного давления в выработанном пространстве посредством анализа процесса оседания подработанной земной поверхности.

Методика. Получены и проанализированы натурные замеры оседаний земной поверхности во времени. По результатам анализа установлена продолжительность активной стадии сдвижений. Применен регрессионный анализ для получения зависимости времени стабилизации горного давления от основных влияющих факторов.

Результаты. Определены параметры логистической функции, описывающей оседания земной поверхности во времени при относительно постоянной скорости очистных работ. Получены скорость процесса, его ускорение и скорость изменения ускорения как производные разного порядка указанной логистической функции. На основании анализа графиков развития процесса оседания, построенных для каждого из реперов, выделены его стадии: начальная, активная и затухания. Установлено, что длительность активной стадии, равная времени стабилизации горного давления, определяется, прежде всего, глубиной разработки, причем эта связь описывается эмпирической степенной зависимостью.

Научная новизна. Заключается в установлении продолжительности процесса стабилизации горного давления в выработанном пространстве через оседания земной поверхности. Установлена связь между временем нарастания давления горного массива до величины γH (гидростатическое давление) и глубиной разработки.

Практическая значимость. Информация о продолжительности активной стадии сдвижения подработанной толщи позволит принять решение об отставании подготовительных работ от очистных, обеспечивающем хорошее эксплуатационное состояние выработки, проводимой по обрушенным породам.

Ключевые слова: *стабилизация горного давления, оседания земной поверхности, активный период оседания*

Актуальность проблемы. Поддержание подготовительных выработок в нормальном эксплуатационном состоянии на глубоких шахтах до сих пор остается неразрешимой проблемой горного производства. Расположение выработок в обрушенных и уплотняющихся породах обеспечивает необходимую их устойчивость, но при условии, что вмещающие породы достаточно уплотнились, и давление на почву отработанного пласта стабилизировалось [1]. Для применения указанного способа охраны подготовительной выработки актуаль-

ным вопросом является установление рационального отставания проходческих работ от очистной выемки, определяемого временем восстановления давления в выработанном пространстве.

Анализ публикаций. В работе [1] представлены результаты шахтных натурных замеров давления обрушенной породной толщи на почву отработанного пласта, взятые по показаниям динамометрических площадок, закладываемых в бутовые полосы вслед за проходом лавы. Показания вертикального давления породного массива фиксировались в разные моменты времени. На основании полученных эксперименталь-