

УДК 622.281

Н.Н. Касьян, И.Г. Сахно

ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕВЗРЫВЧАТЫХ РАЗРУШАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ

На основании проведенных лабораторных и теоретических исследований установлена возможность и исследованы особенности применения невзрывчатых разрушающих материалов для укрепления вмещающего горную выработку массива в пределах зоны разрушенных пород, и обеспечения ее устойчивости.

Ключевые слова: горный массив, взрывной газ, камнесамоцветное сырье, скальные породы, послеремонтный период.

В последние годы в мировой практике начинают широко применяться невзрывчатые разрушающие материалы, способные резко увеличиваться в объеме и создавать высокие давления в результате протекания реакций гидратации.

Материалы на основе невзрывчатых разрушающих веществ (НРВ) в настоящее время применяются в инженерном строительстве для разрушения фундаментов и других строительных конструкций. В горном деле эти вещества применяются для разрушения прочных хрупких пород, дробления негабаритных блоков при добыче скальных пород открытым способом, отбойке камнесамоцветного сырья и других случаях взамен традиционных взрывчатых веществ (ГОСТ 9479—84). Это обусловлено высокой безопасностью выполнения работ, отсутствием сейсмического эффекта и взрывных газов.

Авторами статьи поставлена задача определения возможности применения НРВ с противоположной целью — для укрепления вмещающего горную выработку массива в пределах зоны разрушенных пород, и обеспечения ее устойчивости.

Технологическое решение этой задачи заключается в создании распора в разрушенных породах за пределами проектного контура выработки, что приводит к увеличению сил трения между породными фрагментами и способствует их самоподдержанию.

В качестве технического средства создания распора предполагается применение невзрывчатого разрушающего средства НРВ-80 (ДСТУ БВ.2.7-75-98), выпускаемого в настоящее время в Украине. Указанный материал представляет собой порошкообразное вещество на основе оксида кальция, является пылящим, негорючим, невзрывоопасным, что позволяет применять его в шахтных условиях.

Для определения режима работы НРВ-80, были проведены лабораторные исследования в условиях сходных с природными [1]. Схема испытаний состояла в следующем. Приготовленный заданный объем пластифицированного НРВ-80 помещался в цилиндр специально изготовленного устройства для испытаний, после этого устройство устанавливалось между плитами пресса и при помощи штока создавался начальный распор.

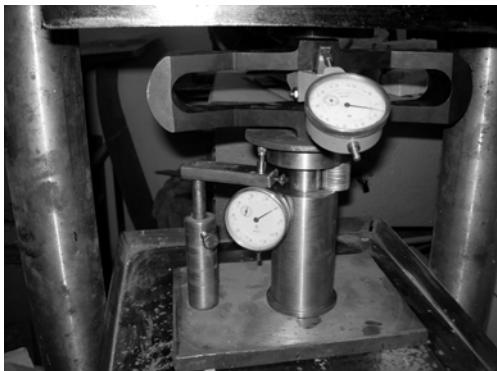


Рис. 1. Общий вид установки для лабораторных исследований

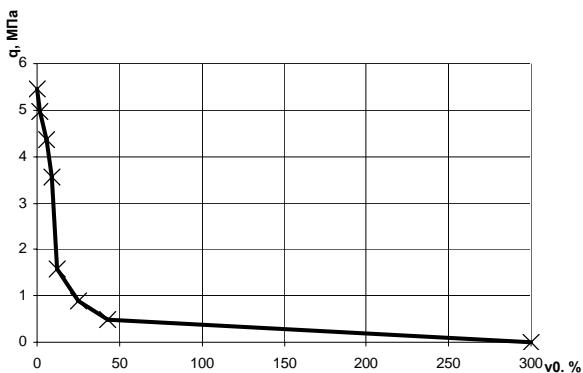


Рис. 2. График зависимости развивающего давления (q) от величины допустимой начальной объемной деформации (v_0)

При кристаллизации вещества происходило его саморасширение, в результате чего оказывалось давление на шток. Измерение давления производилось при помощи динамометра ДОСМ-3-5, установленного между штоком и верхней плитой пресса. Контроль смещений штока проводили при помощи индикатора часового типа с точностью до 0,01 мм. Общий вид установки для лабораторных исследований приведен на рис. 1.

Результаты исследований приведены в виде графика на рис. 2.

Анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать сле-

дующие выводы. При работе в условиях одноосного сжатия за счет своего саморасширения материал развивает давление до 6 МПа. При возможности свободного деформирования происходит снижение эффективности работы НРВ. Так при допустимом начальном объемном деформировании 42,5 % материал не развивает давления больше 0,5 МПа. В условиях свободного объемного расширения материал способен увеличиваться в объеме до 300 %, однако кристаллизация его в этом случае не происходит, после отвердевания материал представляет собой порошок.

Описанная выше технология упрочнения может быть реализована при перекреплении горных выработок (рис. 3). Учитывая, что в настоящее время средний удельный объем крепления горных выработок составляет около 16 м на каждые 1000 т добываемого угля, а объем перекрепления — 7,5 м на каждые 1000 т, такая реализация вполне актуальна.

Приведенная технология производства ремонта выработки, наряду со снижением стоимости работ обеспечивает минимальное нарушение сложившегося в окружающем массиве равновесного состояния, что способствует устойчивому состоянию выработки в послеремонтный период.

Для обоснования параметров предлагаемого способа перекрепления выработки на основе искусственного создания распора в зоне возможного обрушения пород было проведено математическое моделирование методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS. Задача решалась в объемной постановке в масштабе 1:1.

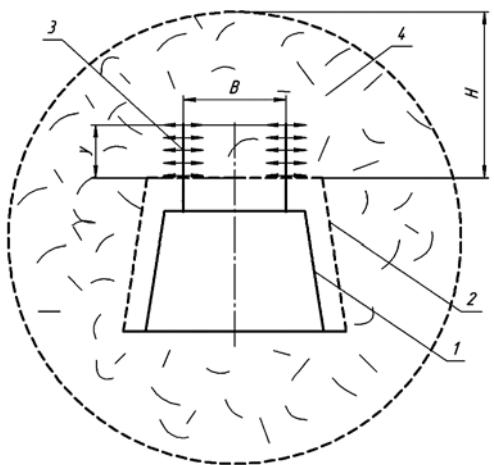


Рис. 3. Схема предлагаемого способа перекрепления выработки: 1 — фактический контур выработки; 2 — проектный контур выработки; 3 — шпуры с распорными элементами; 4 — возможная область обрушения пород

На рис. 4 показана расчетная конечноэлементная модель. Решение поставленной задачи осуществляется при следующих допущениях: граница зоны возможного обрушения пород кровли выработки H распространяется до границы зоны разрушенных пород вокруг выработки; породные фрагменты по форме представляет собой параллелепипеды, с высотой, равной мощности породных слоев. Породные отдельности обладают упругими свойствами.

Равновесное состояние области породного массива по ширине B обеспечивается за счет приложения распределенной нагрузки q по его краям на участке y . При этом суммарные силы трения по вертикальным границам породных блоков F_{tp}^b уравновешиваются их весом с учетом дополнительной нагрузки, создаваемой весом пород.

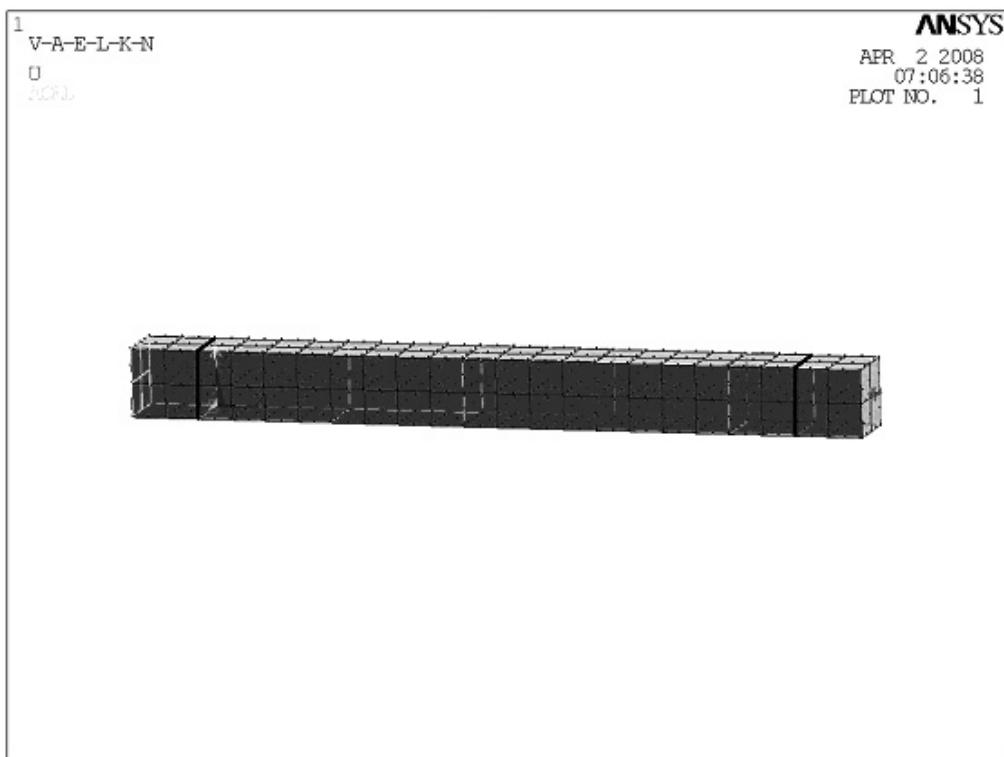


Рис. 4. Расчетная модель для проведения анализа с помощью МКЭ

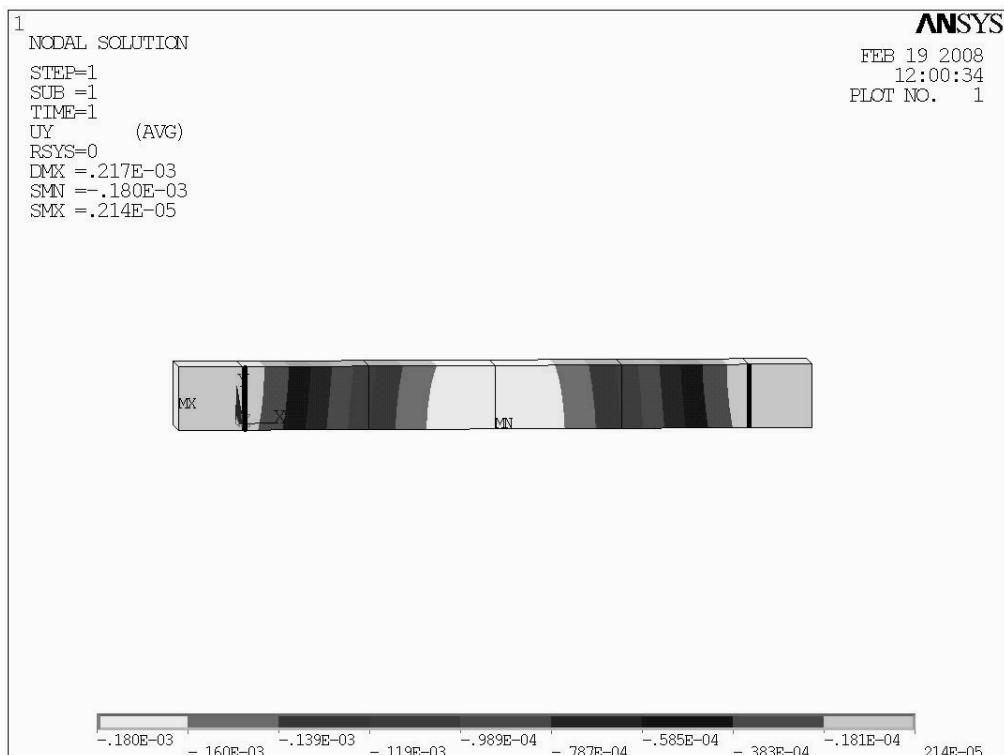


Рис. 5. Картинка распределения вертикальных смещений при решении задачи

При решении задачи варьировались следующие параметры: размер и количество сжимаемых фрагментов $n_{\text{бл}}$ (степень нарушенности пород), коэффициент трения между фрагментами $k_{\text{тр}}$, величина распределенной нагрузки (высота возможного обрушения). Были приняты постоянными упругие свойства пород и их объемный вес.

Решалась задача обеспечения устойчивости конструкции, то есть определяли минимально необходимую величину распределенной нагрузки q для обеспечения самоподдержания.

На рис. 5 и 6 приведены результаты расчета поставленной задачи, соответственно картины распределения вертикальных смещений и эквивалентных напряжений, рассчитанных по энергетической теории прочности при

количество породных фрагментов равном 6.

Из рис. 5 видно, что происходят перемещение и поворот одних породных фрагментов относительно других, максимальные смещения наблюдаются в центре пролета, что соответствует механизму потери устойчивости. Из рис. 6 видно, что максимальные напряжения наблюдаются в углах изгиба моделируемой шарнирной балки, а минимальные напряжения — в середине пролета, то есть в месте максимальных деформаций.

Результаты проведенного моделирования обрабатывались методами математической статистики с помощью пакета программ SPSS. Это позволило, с достоверностью 95 %, получить регрессионную зависимость вида

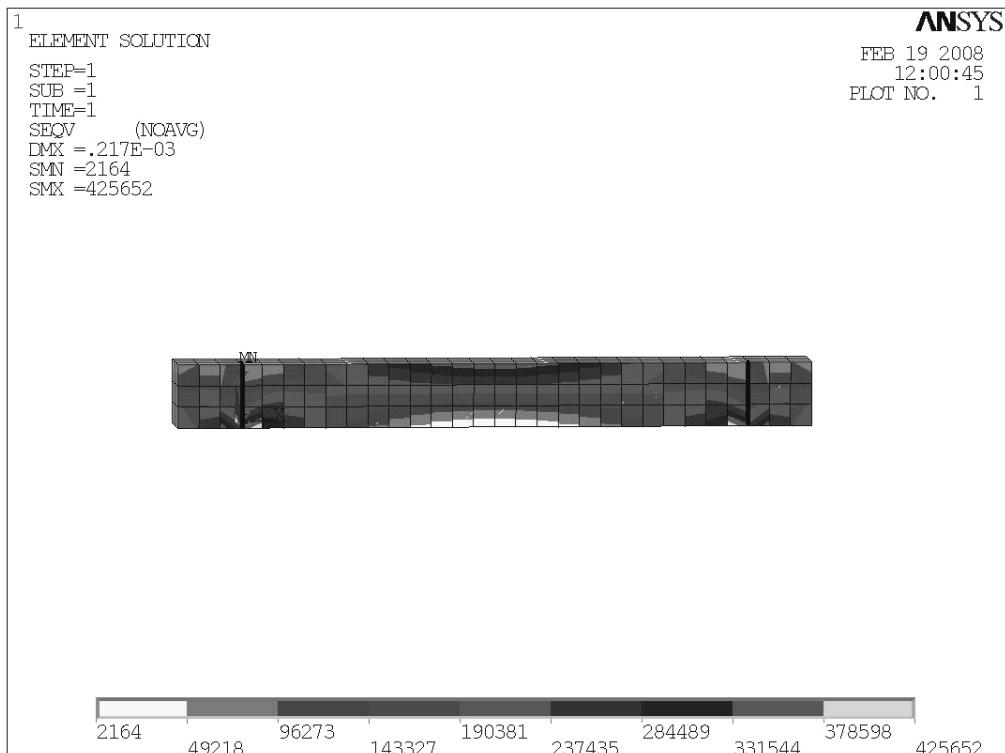


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений, рассчитанных по энергетической терии прочности

$$q = \frac{Q}{k} \left(0,0155 k_{tp}^{-0,7} + 0,0008 \ln(n_{\delta\alpha}) \right), \quad (1)$$

где Q — вес пород в пределах зоны возможного обрушения, кгс; k — отношение высоты участка приложения нагрузки к высоте возможного вывала

$$k = \frac{y}{H},$$

$n_{\delta\alpha}$ — количество породных фрагментов на участке между шпурами В, шт.

С учетом сил трения по горизонтальным границам блоков выражение (1) примет вид

$$q = \frac{Q}{k} \left(0,0155 k_{tp}^{-0,7} + 0,0008 \ln(n_{\delta\alpha}) \right) + \frac{Q \cdot k_{tp} (1 - k_{tp})}{F} (2 - k), \quad (2)$$

где F — площадь горизонтальной площадки, на которой возникают силы трения, м^2 .

Результаты расчетов по формулам (1) и (2) для условий $H=4\text{м}$, $B=2\text{м}$, $\gamma=2,5\text{т}/\text{м}^3$, $k_{tp}=0,4$ показаны на рис. 7, 8.

Из рис. 7 видно, что давления, создаваемые на границе сжимаемых породных фрагментов, с учетом сил трения по горизонтальным площадкам, должны составлять 14—33 % от веса пород, склонных к обрушению, при отношении высоты сжимаемой зоны к высоте вывала 0,16—1 соответственно.

Анализ зависимости величин распора (q) от протяженности сжимаемого участка пород (y) (рис. 8) показыва-

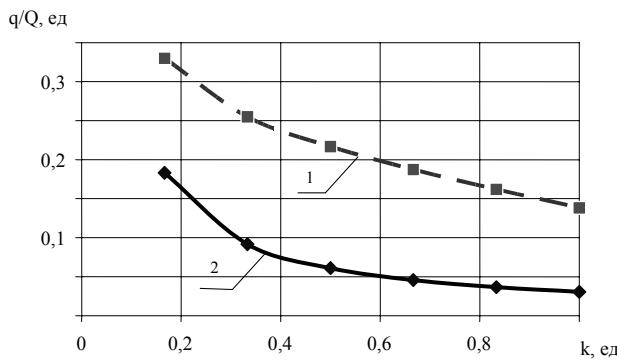


Рис. 7. Графики зависимости q/Q от k (1, 2 — с учетом сил трения по горизонтальным площадкам и без учета этих сил соответственно)

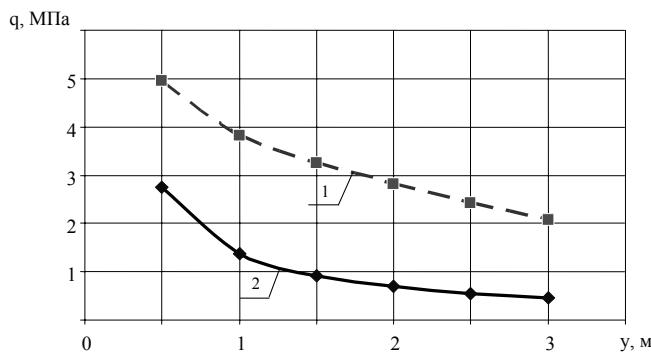


Рис. 8. Графики зависимости необходимой величины распора (q) от протяженности сжимаемого участка пород (y) (1, 2 — с учетом сил трения по горизонтальным площадкам и без учета этих сил, соответственно)

ет, что с увеличением последнего с 0,5 до 3 м необходимая величина распора уменьшается с 2,7 до 0,45 МПа — для случая без учета горизонтальных сил трения, и с 5 до 2,07 МПа — с учетом этих сил.

Таким образом, приведенный расчет доказывает возможность применения в качестве средства создания распора HPB-80.

Предлагается следующая методика расчета параметров предлагаемой технологии перекрепления.

1. Определение размеров зоны разрушенных пород (ЗРП) в кровле выработки (в наиболее сложном случае максимальная высота возможного вывала равна размеру ЗРП).

Для кровель сложенных глинистыми сланцами [2]

$$\frac{r_{\text{зрп}}}{r_B} = 1 + 5,7 \left(\frac{\gamma H}{R} - 0.21 \right)$$

Для кровель сложенных песчаными сланцами

$$\frac{r_{\text{зрп}}}{r_B} = 1 + 14 \left(\frac{\gamma H}{R} - 0.222 \right)$$

2 Определение фактических смещений кровли на момент перекрепления (высота подрывки кровли)

$$\Delta H_{\text{рем}} = H_{\text{проект}} - H_{\text{перекр}}, \text{м}$$

где $H_{\text{проект}}$, $H_{\text{перекр}}$ — высота выработки при проведении (по проекту) и фактическая на момент начала работ по перекреплению.

3. Определение длины шпурков

Общая длина ($I_{\text{общ}}$) устанавливается из соображений, что максимальная длина шпурков с технологической точки зрения может составлять 2,5 м. Поэтому если расчетный размер ЗРП в кровле выработки менее 2,5 м, то длина шпурва принимается равной размеру ЗРП ($r_{\text{зрп}}$). Если же расчетный размер ЗРП в кровле выработки более 2,5 м, то длина шпурва принимается 2,5 м.

Полезная длина шпурва

$$I_{\text{пол.шп}} = I_{\text{общ}} - \Delta H_{\text{рем}}, \text{м}$$

4. Определение плотности установки (схемы расположения) шпуров.

Для определения плотности шпуров предлагается использовать результаты математического моделирования методом конечных элементов (2).

Анализ полученной зависимости показывает, что максимальный распор по площадкам (в наихудшем случае) должен составлять 0,33 Q. При условии равномерной передачи нагрузки необходимое давление, создаваемое в шпуре при помощи НРВ должно составить

$$q_{\text{НРВ}} = \frac{q}{l_{\text{пол.шп}} \cdot d_{\text{шп}}}$$

Полученная величина необходимого давления сравнивается с данными лабораторных исследований НРВ-80 (рис. 2). При отсутствии точных данных о коэффициенте расширения пород, его можно принять равным 1,18, согласно исследованиям И.Л. Черняка [3]. Если необходимое давление при заданном коэффициенте расширения обеспечивается, значит параметры расположения шпуров выбраны верно, если же оно меньше необходимого, расчет повторяется при большем количестве шпуров (при этом

изменится удельный вес пород в пределах возможного вывала на шпур).

Предлагается начинать расчет для условий расположения в сечении двух шпуров и в дальнейшем повышать их количество.

Приведенный вариант применения НРВ для обеспечения устойчивости выработок не является единственным. Описанный принцип может применяться для укрепления пород кровли и почвы в пределах зоны разрушенных пород как альтернатива нагнетанию вяжущих составов, при этом создается возможность локального упрочнения и контроля за его процессом. Также указанный материал предлагается применять для создания разгрузочных щелей в породах почвы при проведении выработок. При этом достоинством является возможность управления процессом разрушения, как по длине шпура, так и по длине выработки.

Результаты проведенных исследований подтверждают целесообразность и техническую возможность применения невзрывчатых разрушающих материалов для обеспечения устойчивости горных выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лабораторные исследования работы невзрывчатых разрушающих веществ при упрочнении массивов разрушенных горных пород* / Н.Н. Касьян, Н.А. Овчаренко, И.Г. Сахно, Ю.А. Петренко, О.Л. Самусь // Науковий вісник національного гірничого університету. — 2008. — № 8. — С. 50—52.

2. *Касьян Н.Н. Геомеханические основы управления зоной разрушенных пород вокруг выработок для обеспечения их устойчивости на больших глубинах: Дис...д-ра техн. наук: 05.15.02. — Донецк, 2002. — 358 с.*

3. *Упрочнение пород в подготовительных выработках* / И. Л. Черняк — М.: Недра, 1993. — 256 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Касьян Николай Николаевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Разработка месторождений полезных ископаемых»,

Сахно Иван Георгиевич — кандидат технических наук, доцент, e-mail sahno_i@mail.ru,

Донецкий национальный технический университет, e-mail rpm@dgtu.donetsk.ua