

ментами на моделях / Под. Ред. Г.С. Золотарева. М. - 1973.

2. Дубина М.М., Тесленко Д.К., Целицо В.М., Черняков Ю.А. Метод конечных элементов для расчетов фундаментов на выштампованных котлованах и устойчивости откосов. ООО Издательство "Весь Мир", 2001, - 224 с.

3. Боткин А.И. О прочности сыпучих и хрупких материалов // Изв. НИИГ, -1940, - т. 26, - с. 64-69.

4. Hill R. A general theory of uniqueness and stability of elastic plastic solids // J.of Mech.Phys.Solids. - 1958. - Vol.6. - P.236-249.

5. L.G. Sluys, A.H. Berends. Discontinuous failure analysis for mode-I and mode-II localization problems // Int. J. Solids Structures, Vol. 35, pp.4257-4274, 1998.

УДК 554.232:622.011.4

Г.В. Левченко

УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ РАЗРУШАЮЩИХСЯ ПОРОД ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ ЕГО РАЗВИТИЯ

Приведені нові результати щодо умов руйнування гірських порід навколо виробки як руху кордону структурних змін з урахуванням властивостей та напруженості середовища, сил підкріплення на вільній поверхні. Запропоновані рекомендації по керуванню станом масиву навколо виробки мірами підтримання виробки.

STABILITY OF TUNNELS IN CONDITIONS OF COLLAPSING BREEDS AT RESTRICTION OF ITS DEVELOPMENT

The new results of destruction conditions of rocks around mine tunnel as movements of border of structural changes are given in view of properties and intensity of environment, forces of a reinforcement on free surface. The offered recommendations for management of massive condition around tunnel by measures of maintenance of tunnel.

Известно, что разрушение пород вокруг выработок происходит постоянно, развиваясь во времени и пространстве, т. е. имеет место движение границы структурных изменений. Его кинетика представляет собой сложный многоактовый процесс, для оценки и описания которого силовых критериев недостаточно, а статика энергетических преобразований не отражает полностью механики происходящих явлений, для этого необходим учет кинетических параметров деформирования и развития разрушения, связанных с изменением напряженности и дефектности среды. Рассмотрев движение границы разрушения в напряженной среде от свободной или подкрепленной поверхности в квазидинамическом режиме в соответствии с моделью В.Н. Николаевского [1] о движении волны двуфронтальной структуры с замыканием основных уравнений условиями на фронтах по предельной скорости движения и прочности материала при разрыве-сдвиге, получена критериальная зависимость, связывающая подкрепление – подпор со стороны свободной поверхности с начальными напряжениями, их изменением, кинетическими и силовыми параметрами движения границы разрушения [3]:

$$P \geq \sigma_{\text{н}} + (\gamma_{\text{н}} + \nu_{\text{р}} \rho_0 - \sigma_{\text{н}}) \frac{0.3 \rho_0^{-2} + \gamma_{\text{н}} - \sigma_{\text{н}}}{\rho_0^{-2} + \gamma_{\text{н}} - \sigma_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где ρ_0 - плотность пород; v_p - скорость движения фронта разрушения; $\sigma_0 = \gamma H, \sigma_., \sigma_p$ - напряжения вне зоны влияния свободной (подкрепленной) поверхности, в зоне пластического деформирования и в зоне разрушения (определяются по [4]); P - усилие подкрепления; c - скорость распространения продольных волн;

Анализ условий движения границы разрушения, позволил установить, что его можно управляемо изменять в требуемых пределах, регулируя силовые соотношения на границе разрушения за счет выбора рациональных усилий подкрепления и градиента возмущений при нарушении равновесия. Полученные определяющие зависимости позволяют вести расчет и выбор указанных рациональных параметров для регулирования разрушения.

По полученной зависимости (1) выполнен расчет условий обеспечения устойчивости горных выработок при поддержании их в напряженном породном массиве в процессе строительства и эксплуатации за счет ограничения развития разрушения в приконтурной области. Изменение параметров варьировалось в широком диапазоне значений $\sigma_c = 10 \div 70$ МПа, $\sigma_{ост} = 1.7 \div 7.2$ МПа, $A-1 = 1.5 \div 3.5$, $M/E = 0.5 \div 3$, $\gamma H = 10 \div 30$ МПа при базовых значениях $\sigma_c = 40$ МПа, $\sigma_{ост} = 2.6$ МПа, $A-1 = 2.5$, $M/E = 2$, $\gamma H = 20$, $\rho = 2.5$ т/м³, $c = 1.5$ км/с, $v_p = 0.35 \cdot 10^{-7}$ м/с. Результаты расчета представлены в виде закономерностей изменения отпора крепи от основных влияющих факторов.



Рис. 1 – Изменение отпора крепи в зависимости от прочности пород (1) и горного давления (2).

Проведен анализ изменений в состоянии массива, произошедших при нарушении равновесия и переходе в движение границы зон различного деформирования пород за счет возникшего градиента напряжений (наличие пустот между крепью и массивом, проскальзывание в замках, разрушение тампонажной оболочки, усадка системы «тампонажный камень – массив» или «крепь – массив», потеря устойчивости крепи и т. п.). Установлено (рис.1), что отпор крепи (знак минус указывает на действие давления в направлении, противоположном движению пород) в условиях разрушающихся пород для ограничения разрушения

при малой прочности и небольших глубинах должен быть увеличенным, а при большой прочности и высоком горном давлении может быть уменьшен за счет формирования зоны разрушенных пород и использования ее как податливого уплотняющегося элемента. Представленные закономерности показывают, что при положительных значениях P крепь должна выполнять функции ограждающей, необходимо выждать время до образования разрушенной зоны пород, а затем вовлечь ее в работу крепи, увеличив ее отпор. Такие меры будут способствовать ограничению развития разрушения в массив и обеспечению устойчивости выработки. При $P > -1$ следует при поддержании выработок применять дополнительные мероприятия по увеличению несущей способности крепи.

Закономерности, представленные на рисунке 2 показывают, что разрушение пород по их остаточной прочности также сказывается на устойчивости массива: с увеличением остаточной прочности отпор крепи увеличивается и вызвано это тем, что разрушение пород недостаточное с позиций использования их в работе крепи как естественного податливого элемента. Аналогичный вывод следует и из закономерности связи отпора крепи со свойствами пород, в частности отношения M/E , характеризующего упругие и неупругие свойства пород: с увеличением упругости, жесткости и хрупкости пород отпор крепи увеличивается. Это, естественно, так как увеличение указанных свойств уменьшает возможность создания зоны разрушенных пород как «буферной» зоны, воспринимающей и нейтрализующей горное давление как податливый и подбучивающий элемент, а также увеличивающей передачу усилий давления непосредственно на крепь.



Рис. 2 – Закономерности изменения отпора крепи от характеристик остаточной прочности (1) и отношения модулей упругости и спада (2).

Таким образом, в результате анализа кинетики разрушения пород вблизи обнажений получена критериальная зависимость, позволяющая вести оценку силовых факторов и условий, обеспечивающих устойчивость обнажений, закрепленных крепью с отпором P . Получены закономерности изменения усло-

вий поддержания выработок в зависимости от свойств пород и состояния массива. Установлено, что с учетом разрушения массива пород вблизи обнажений для ограничения его развития при эксплуатации выработок необходимо в комплексе решать вопросы рационального вовлечения в работу крепи зоны разрушенных пород вокруг выработок. Выполненный анализ подтверждает лишний раз сформировавшееся мнение о путях обеспечения устойчивости выработок, но новизна исследований заключается в предложенном критерии и аппарате расчета, которые дают возможность выполнять такие работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесников В.Г., Левченко Г.В. Кинетика и механизм разрушения пород вблизи обнажений // Геотехническая механика. Сб. научн. тр. - Днепропетровск. - 2000. - Вып. 21. - С. 83-86.
2. Николаевский В.Н. О разрушении вязкоупругих тел // Прикл. мат. и мех. - 1981. - Т. 45. - Вып. 6. - С. 1121-1128.
3. Колесников В.Г., Левченко Г.В. Кинетика разрушения пород в приконтурной области // Геотехническая механика. Сб. научн. тр. - Днепропетровск, 2001. - Вып. 27. - С. 36-41.

УДК 550.343.6

А.В. Ловчиков

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОЧАГОВЫХ ЗОН ГОРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ УДАРОВ НА РУДНИКАХ.

Виявлені та обґрунтовані закономірності очагових зон гірничо-тектонічних ударів на рудниках, наведено фактичні дані, побудовано графіки залежностей.

LAWS OF FORMATION THE CENTER ZONES OF ROCK-TECTONIC IMPACTS ON ORE MINES.

There're revealed and proved the laws of formation the center zones rock-tectonic impacts on ore mines, the fact sheet is given, the diagrams of dependences are constructed.

Наиболее тяжелые горные удары, происходящие в рудниках, называются горно-тектоническими. Такие удары, обычно, вызывают в рудниках разрушения целиков и выработок на больших площадях. Нами предложено относить к горно-тектоническим удары, выделенная сейсмическая энергия которых не менее 10^{10} Дж, а площадь разрушения выработок после которых составляет не менее 10 тыс. м² [1]. Как показывает практика эксплуатации наиболее глубоких рудников мира, проблемы с горно-тектоническими ударами, как и с горными ударами вообще, наиболее остро встают с глубины более 1000-1500 м. В настоящее время на рудниках России таких глубин достигли только отдельные выработки на некоторых месторождениях (Норильское, Таштагольское и другие), вследствие чего количество происшедших горно-тектонических ударов пока невелико и исчисляется первыми десятками случаев. Приведем примеры некоторых наиболее сильных горно-тектонических ударов, имевших место в последние годы на российских рудниках, а также, для сравнения, некоторых аналогичных событий на зарубежных рудниках, взятые из литературных источников (таблица).