

УПРАВЛЕНИЕ РАЗРУШЕНИЕМ ГОРНЫХ ПОРОД ВБЛИЗИ ВЫРАБОТОК ЛОКАЛЬНЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ НА ПРИКОНТУРНЫЙ СЛОЙ

Концентрация напряжений вблизи контура выработки приводит к образованию вокруг нее зоны неупругих деформаций, которые во времени распространяются вглубь массива, что приводит к резкому увеличению смещений контура горной выработки. Большинство исследователей пришло к выводу, что предотвратить образование зоны разрушения путем увеличения несущей способности крепи невозможно.

Исследованиями последних 10-15 лет более глубоко раскрыт характер и механизмы деформирования пород вокруг выработок в частности в породах III и IV категории устойчивости. В работах [1,2,3] показано, что состояние пород III и IV категории устойчивости чувствительно даже к слабым дополнительным воздействиям (увлажнению, удаленным буровзрывным и очистным работам), наличие которых приводит к возрастанию интенсивности смещений вмещающих пород и росту размеров зоны разрушения.

Решение проблем проведения, крепления и охраны выработок связано с поиском воздействий, применение которых привело бы горные породы вблизи выработки в заданное состояние путем изменения естественного, неуправляемого развития геомеханических процессов и выбором способов реализации воздействий.

Главная задача крепи подземных выработок заключается в том, чтобы способствовать самоподдержанию массива. Поэтому, в основе теории горной крепи лежит исследование ее взаимодействия с горными породами. Параметры системы крепления зависят от геомеханических свойств трещиноватой и ненарушенной породы, размеров, формы выработок, концентрации напряжений в массиве и уровня допустимых деформаций в пройденных выработках [2,4].

В работе [1] показано, что размеры и состояние приконтурной разрыхленной зоны пород оказывает существенное влияние на процессы в приконтурном массиве, а следовательно, влияя определенным образом на состояние приконтурных пород, можно повысить устойчивость горной выработки, особенно в сложных горно-геологических условиях, появляется возможность,

изменяя значение радиальной компоненты напряжений σ_r , т.е., блокируя свободное разрушение приконтурных пород, изменить категорию устойчивости горного массива.

Блокирование свободного разрушения пород возможно при отпоре крепи более 1 МПа, а грузонесущая способность металлических податливых и ограниченно-податливых крепей составляет 150-250 кПа. Достижение необходимого уровня интенсивности воздействий возможно путем уменьшения площади приложения нагрузки в 4-7 раз, т.е. локальными воздействиями на приконтурные породы.

Экспериментальные исследования запредельного деформирования горных пород в условиях применения локальных воздействий выполнялись по методике испытаний, разработанной в ИГТМ НАН Украины и усовершенствованной в части способа приложения боковой нагрузки.

Испытывались образцы кубической формы, изготовленные из пород, отобранных на шахтах Западного Донбасса, которые предварительно подвергались следующим воздействиям: изменение влажности; нагрузка до определенной степени нарушенности и упрочнение скрепляющими растворами; армирование металлическими стержнями.

Особый интерес с точки зрения реализации локальных воздействий представляет анкерование. Выявлено, что различные типы анкеров по-разному влияют на запредельное поведение горных пород – максимальное влияние оказывают анкеры с узлом податливости, расположенным у поверхности пород, причем наиболее существенные изменения происходят с остаточной несущей способностью.

Испытания проводились при различных уровнях локальной боковой нагрузки и площади ее приложения. Результаты испытаний показывают, что установка анкера и его параметры мало влияют на характер деформирования пород до предела прочности и его величину σ_c^0 . Однако, после достижения предела прочности, процесс разрушения даже при малых значениях локальной нагрузки отличается от разрушения как в условиях со свободной поверхностью, так и в условиях эквивалентного трехосного неравнокомпонентного сжатия. Значения σ_c^{oc} зависит как от минимальной компоненты напряжений σ_r , так и от относительной площади приложения нагрузки ΔS .

Математическая модель горных пород, учитывающая включение в работу приконтурного массива может быть записана следующим условием:

$$\sigma_{\theta} - A\sigma_r \leq \sigma_{с ж} = \begin{cases} \sigma_{с ж}^0 & \text{при } r \geq r_L \\ \sigma_{с ж}^{oc m} + K \frac{\sigma_r}{\sigma^*} (\sigma_{с ж}^0 - \sigma_{с ж}^{oc m}) & \text{при } 1 \leq r \leq r_B, \end{cases}$$

где σ_{θ} , σ_r - окружная и радиальная компонента напряжений; $A = \frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho}$ - параметр, зависящий от угла внутреннего трения; $\sigma_{с ж}$ - текущее значение прочности σ_0^c предела прочности на одноосное сжатие горной породы; $\sigma_{с ж}^{oc}$ - остаточная несущая способность породы; r_L - радиус зоны нарушенных пород; r_B - радиус зоны блокирования разрушения; $K > 0$ - коэффициент, определяющий степень включения приконтурных пород в работу ($0 \leq K \leq 1$); $\sigma^* = K_1 \sigma_0^c$, $K_1 = (0,2 - 0,4)$ - пороговое напряжение.

Для устранения чувствительности пород к слабым воздействиям, радиус влияния горнотехнологических локальных воздействий должен быть таким, чтобы вне этой зоны значение минимальной компоненты напряжений было больше порогового значения, т.е. необходимо выполнить условие $\sigma_r^B \geq \sigma^*$ при $r \geq r_B$. Для таких условий получено соотношение для минимального размера зоны упрочняющего воздействия, блокирующего свободное разрушение приконтурных пород.

Условие для определения радиуса зоны неупругих деформаций при блокированном разрушении получено с учетом того, что на границе зоны упругих и неупругих деформаций ($r = r_L^B$) выполняется равенство $\sigma_r^H = P_L$

$$r_L = r_B = \left\{ \frac{P_L + \sigma_{с ж}^0 / A - 1}{\sigma^* + \sigma_{с ж}^0 / A - 1} \right\}^{\frac{1}{A-1}},$$

где $P_L = \frac{2\rho g H - \sigma_{с ж}^0}{A+1}$ - значение радиальной компоненты напряжений на границе зоны неупругих и упругих деформаций; H - глубина заложения выработки; ρ - объемная масса горных пород; g - ускорение силы тяжести.

Сравнивая значения радиусов зон неупругих деформаций при свободном и блокированном протекании процесса разрушения, получено соотношение для определения коэффициента уменьшения зоны нарушенных пород

$$K_3 = \frac{r_L^B}{r_L^C} = \frac{\left\{ \left(P_L + \frac{\sigma_{с ж}^{oc m}}{B-1} \right) : \left(P + \frac{\sigma_{с ж}^{oc m}}{B-1} \right) \right\}^{\frac{1}{B-1}}}{\left\{ \left(P_L + \frac{\sigma_{с ж}^{oc m}}{A-1} \right) : \left(P + \frac{\sigma_{с ж}^{oc m}}{A-1} \right) \right\}^{\frac{1}{A-1}}}$$

Категория устойчивости пород, являющаяся основанием для выбора типов крепи и ее параметров, определяется смещением контура выработки. На практике расчет ожидаемых смещений выполняется по известным методикам с достаточной точностью. С учетом этого, получена зависимость для определения смещения породного контура при блокированном разрушении выраженного через смещение при свободном разрушении:

$$V_r^B = K_3 V_r^C$$

Приведенная зависимость позволяет выбирать величину локального воздействия, реализация которого приведет к переводу пород приконтурной зоны в более высокую категорию устойчивости.

С целью упрощения выполнения инженерных расчетов ожидаемых смещений породного контура в условиях применения локальных воздействий направленных на блокирование разрушения приконтурных пород, с учетом условий заложения выработок строятся графики коэффициента уменьшения зоны нарушенных пород от коэффициента блокирования K_B . Этот коэффициент определяется изменением значения остаточной несущей способности пород $\sigma_{с ж}^{oc}$, достигаемой принятыми горнотехнологическими процессами.

Физические основы способов и средств повышения устойчивости горных выработок базируются на обобщении теоретических и экспериментальных данных по влиянию локальных воздействий на процесс разрушения приконтурных пород. Большая группа способов основывается на применении анкерных крепей различной конструкции, поэтому их обоснование является одной из задач выполненных исследований.

Принято считать, что снижение нагрузок на базовую конструкцию обусловлено тем, что часть из них воспринимает на себя анкерная крепь. Так, при расчете анкерной крепи в сочетании с рамной несущая способность этих крепей просто суммируется, совершенно не учитывая взаимного влияния крепей и изменения характера разрушения приконтурного слоя.

В то же время выполненными исследованиями установлено, что повышение остаточной несущей способности происходит не только при увеличении усилия закрепления анкера. Наблюдается также зависимость величины остаточной несущей способности пород $\sigma_{сж}^{oc}$ от коэффициента перекрытия поверхности. Так, уже при увеличении площади перекрытия до 4 % поверхности происходит повышение остаточной несущей способности до 20 % предела прочности σ_c^0 . Целесообразно увеличивать площадь перекрытия поверхности пород элементами, конструктивно связанными с анкерами и взаимодействующими с ними в процессе работы. Применительно к горным выработкам угольных шахт такими элементами могут служить рамы поддерживающей крепи.

Повышение устойчивости выработок может быть достигнуто также упрочнением пород инъекцией скрепляющих растворов. При этом речь идет о повышении прочности естественно или искусственно нарушенных пород. Предел прочности упрочненных пород $\sigma_{сж}^{уп}$ не превышает предела прочности ненарушенных σ_c^0 и составляет не более 80 % σ_c^0 .

При запредельном деформировании породы, упрочненные инъекцией цементно-песчаных растворов, ведут себя как пластичные материалы с пределами текучести от 1 до 7 МПа, деформирование в предельном состоянии продолжается достаточно долго без разрыхления и существенного снижения несущей способности. Деформирование пород, упрочненных полимерными растворами, подобно деформированию ненарушенных пород, но численные значения предела прочности $\sigma_{сж}^{уп}$ меньше, а остаточная прочность $\sigma_{сж}^{oc}$ больше, чем у аналогичных ненарушенных пород. Применение способа инъекции приконтурных пород позволяет в большей или меньшей степени изменить их остаточную прочность и, тем самым, повлиять на процесс разрушения вмещающего массива.

Практическое применение блокирования свободного разрушения приконтурных пород способами локального воздействия, показывает, что имеется реальная возможность значительно снизить смещения контура горной выработки, уменьшить материальные и трудовые затраты на крепление и поддержание выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усаченко Б.М., Кириченко В.Я., Шмиголь А.В. Охрана подготовительных выработок глубоких горизонтов шахт Западного Донбасса: Обзор / ЦНИЭИуголь. – М., 1992. – 168 с.
2. Усаченко Б.М. Свойства и устойчивость горных выработок. – К.: Наук. думка, 1979. – 135 с.
3. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
4. Выгодин М.А., Евтушенко В.В. Устойчивость вмещающего массива пород и вопросы технологии сооружения горных выработок // Шахтное строительство. – 1989, № 8. – с. 4 – 8.

УДК 622.831.3

А.А. Бобылев, В.В. Левит

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С УЧЕТОМ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОРОД ВБЛИЗИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Современное шахтное строительство ведется преимущественно в сложных горно-геологических условиях. Существующие нормативные рекомендации не могут охватить всевозможные условия проектирования подземных конструкций. Поэтому успешное решение задач, связанных с обеспечением эксплуатационной надежности вертикальных стволов, требует привлечения методов математического моделирования для прогнозирования геомеханических процессов в окружающих породных массивах и расчета параметров крепи.

Основная особенность работы крепи вертикальных стволов заключается в том, что крепь нагружается в процессе совместного деформирования с вмещающим породным массивом, вследствие чего нагрузки на крепь не могут быть заданы априорно, как исходные данные к расчету, а должны определяться в процессе единого расчета всей деформируемой системы «крепь ствола – породный массив».

В настоящей работе предложена математическая модель геомеханических процессов вблизи вертикальных стволов с учетом естественной и наве-