

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
ВЫРАБОТОК ПРИ ТАМПОНАЖЕ ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА**

Викладено результати аналітичних досліджень стійкості виробок при тампонажу закріпного простору з урахуванням особливостей поведінки порід у приконтурній зоні. Доведено, що встановлені залежності дозволяють вести розрахунки і аналізувати відпір кріплення з урахуванням пружних і непружних властивостей масиву, особливостей деформування порід за межею їх міцності, наявності остаточних напружень і параметрів зони зруйнованих порід.

**ANALYTICAL INVESTIGATIONS OF STABILITY OF THE
WORKINGS AT THE SEALING OF THE SUPPORT SPACE**

Are determined the results of analytical investigations of stability of the workings at the sealing of the support space with calculation of the peculiarities of conduct of the mining rock in the zone near contour. It is proved, that the established dependences allow to make accounts and to analyze the back pressure of supporting with calculation of resilient and unresilient properties of the rock mass, peculiarities of deformation of rocks for limit their strength, availability of residual stresses and parameters of zone of the destroyed rock.

Устойчивость подземных обнажений при длительной их эксплуатации, как известно, в значительной степени зависит от состояния массива вмещающих пород и условий их крепления. Одним из перспективных направлений решения задачи повышения устойчивости обнажений является тампонаж закрепного пространства при выборе оптимального состава и качества тампонажных смесей и условий ведения тампонажных работ.

В последние годы большой вклад в решение проблем поддержания выработок в слабометаморфизованных породах внесли авторы работ [1, 2, 3, 4]. Качественно новый уровень решения по обеспечению устойчивости выработок получен в результате установления закономерности разрушения горных пород в приконтурной области выработки, которая зарегистрирована как научное открытие № 43 [5]. В соответствии с этими исследованиями зона разрушенных пород вокруг выработки должна иметь определенные параметры, позволяющие включаться ей в работу крепи как дополнительной несущей конструкции и в то же время выполнять роль демпфера, т.е. выступать податливым элементом за счет уплотнения разрушенных пород. Указанные особенности поведения пород в приконтурной зоне выдвигают новые требования к тампонажным работам в закрепном пространстве: с одной стороны необходимо создать устойчивую оболочку, а с другой - обеспечить необходимую ее податливость.

Установлено, что породы, находящиеся в условиях сжатия, имеют повышенную устойчивость из-за максимального их сопротивления деформациям сжатия и минимального - растяжению, которое и обуславливает интенсивное развитие разрушения [2]. Характер деформирования оценивается известным показателем Надаи-Лоде, определенным действующими в массиве напряжениями [6]. В зависимости от соотношения последних обобщенное сжатие наступает, если показатель

$$0,5 \leq \mu = \frac{2\sigma_0 - \sigma_r - \sigma_z}{\sigma_r - \sigma_z} \leq 1 \quad (1)$$

Так как вокруг выработки в массиве на больших глубинах возникают последовательно зоны разрушенных несвязных пород, разрушенных связных (пластического деформирования) пород и упругого деформирования, то условия сжатия необходимо в первую очередь обеспечивать в зоне разрушенных пород, в частности, на ее границе. В настоящее время методы детерминированного определения напряжений в различных зонах разработаны в достаточной мере и особых затруднений не вызывают, в том числе и с учетом запредельного деформирования. Для решения нашей задачи воспользуемся выражениями, полученными В.В. Виноградовым в работе [7]. При этом учтем, что, как показывают исследования [2], перевод в условия обобщенного сжатия или сжатия со сдвигом можно осуществить путем образования в приконтурной области выработки только зоны связно-нарушенных пород. То есть при условии, что в зоне неупругого деформирования радиусом r_n при $r=r_n$ (r - текущий радиус, r_n - радиус зоны разрушенных пород) действуют напряжения:

$$\begin{aligned} \sigma_r^h &= \left(1 + \frac{\sigma_{ocm}}{A-1}\right) r_n^{A-1} - \frac{\sigma_c}{A-1} \left[1 - \frac{M}{E} - \frac{M}{2E} \left(1 + \left(\frac{r_n^2}{r_p^2}\right)^{A-1}\right)\right]; \\ \sigma_\theta^h &= A \left(P_0 + \frac{\sigma_{ocm}}{A-1}\right) r_n^{A-1} - \frac{\sigma_c}{A-1} \left(1 + \frac{M}{E}\right); \sigma_z = \lambda \sigma_\theta. \end{aligned} \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1) получим

$$(4A - \lambda A - 3) \left(P_0 + \frac{\sigma_{ocm}}{A-1}\right) r_n^{A-1} - \frac{\sigma_c(1-\lambda)}{A-1} \left[\frac{2M}{E} + \frac{M}{E} \left(A(\rho_n - 1)^{A-1} + \left(\frac{\rho_n^2}{r_p^2}\right)^{A-1}\right)\right] = 0. \quad (3)$$

Из этого уравнения для отпора кепи P_0 , обеспечивающего условия сжатия, в соответствии с [5] следует:

$$P_0 = \frac{0.01A\sigma_{ocm}E}{M(\rho_n)^{2(A-1)}} \left[\frac{A\sigma_{ocm}(4A - \lambda A - 3)}{A-1} - \frac{2M}{E} \left(\frac{\sigma_c(1-\lambda)}{A-1} + A(\rho_n - 1)^{A-1}\right)\right] - \frac{0.01\sigma_{ocm}}{A-1} \quad (4)$$

Здесь $A = (1 + \sin \rho) / (1 - \sin \rho)$; σ_c, σ_{ocm} - предел прочности и остаточная прочность пород при сжатии; E, M - модули упругости и спада (по кривым запредельного деформирования); r_p, r_n - радиусы зон разрушенных и связно-нарушенных пород; $\rho_n = r_n / r_o = [1 + (E / M)(1 - \sigma_{ocm} / \sigma_c)]^{1 / (A - 1)}$; r_o - радиус выработки.

Реологические свойства и фактор времени учитываются в соответствии с наследственной теорией ползучести Ю.Н. Работнова путем замены упругих постоянных, в частности, модуля упругости E интегральным оператором [8]:

$$E = E_0 [1 - \chi \mathfrak{D}_\alpha^*(-\beta)], \quad (5)$$

где α, β - реологические параметры; E_0 - упруго-мгновенный модуль упругости; $\mathfrak{D}_\alpha^*(-\beta)$ - оператор Ю.Н. Работнова.

С учетом (5) выражение (4) примет вид:

$$P_0 = \frac{0.01 A \sigma_{ocm} E_0 [1 - \chi \mathfrak{D}_\alpha^*(-\beta)]}{M(\rho_n)^{2(A-1)}} \left[\begin{array}{l} \frac{A \sigma_{ocm} (4A - \lambda A - 3)}{A - 1} - \frac{2M}{E_0 [1 - \chi \mathfrak{D}_\alpha^*(-\beta)]} \rightarrow \\ \rightarrow \left(\frac{\sigma_c (1 - \lambda)}{A - 1} + A(\rho_n - 1)^{A-1} \right) \end{array} \right] - \frac{0.01 \sigma_{ocm}}{A - 1}. \quad (6)$$

Аппроксимируя ядро Ю.Н. Работнова функцией Миттаг-Лефлера, окончательно получим:

$$P_0 = \frac{0.01 A \sigma_{ocm} E_0 \left[1 - \frac{\chi}{\beta} (1 - e^{-\beta \gamma (1-\alpha)}) \right]}{M(\rho_n)^{2(A-1)}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \left[\begin{array}{l} \frac{A \sigma_{ocm} (4A - \lambda A - 3)}{A - 1} - \frac{2M}{E_0} \left[1 + \frac{\chi}{\chi - \beta} (1 - e^{-(\chi - \beta) \gamma (1-\alpha)}) \right] \rightarrow \\ \rightarrow \left(\frac{\sigma_c (1 - \lambda)}{A - 1} + A(\rho_n - 1)^{A-1} \right) \end{array} \right] - \frac{0.01 \sigma_{ocm}}{A - 1}. \quad (7)$$

Установленная зависимость позволяет вести расчет и анализ величины отпора сооружаемой крепи, необходимого для обеспечения условий обобщенного сжатия пород в приконтурной зоне выработки, с учетом упругих и неупругих свойств массива, запредельного деформирования, коэффициента бокового отпора, остаточных напряжений и радиуса зоны разрушенных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халимендик Ю.М. Геомеханические процессы вокруг одиночной горной выработки / Прогрессивные решения по креплению и поддержанию горных выработок. Материалы отрасл. н.-т. конференции. – Харьков: НИИОМШС, 1996. – С. 19-22.
2. Халимендик Ю.М. Разработка и обоснование научно-технических решений поддержания горных выработок и увеличения полноты выемки угля в условиях слабометаморфизованных пород / Дисс... докт. техн. наук. – Днепропетровск: ГГАУ, 1987. – 255с.
3. Чемакин В.А. Обоснование параметров металлической крепи с прямолинейными элементами для повышения устойчивости выработок в слабометаморфизованных породах / Автореф. дисс...канд. техн. наук. – Днепропетровск: НГАУ, 1999. – 16с.
4. Халимендик Ю.М., Чемакин В.А., Спицын Ю.А. Поддержание горных выработок / Уголь Украины, 1996, №3. – С. 7-9.
5. Колесников В.Г., Халимендик Ю.М. Закономерность разрушения горных пород в приконтурной области выработок / Геотехническая механика, №5. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 1998. – С. 32-35.
6. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. М.: Мир, 1969. – 648с.

7. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. – К.: Наукова думка, 1989. – 192с.

8. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966. 567с.

УДК 622.271

Б.М. Усаченко, В.Я. Кириченко, В.Ю. Куклин
**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ «ЛАВА - СОПРЯЖЕНИЕ - ШТРЕК» ПРИМЕНИТЕЛЬНО К
СОЗДАНИЮ ОХРАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Розглянуто питання вибору напрямків експериментальних та аналітичних досліджень з метою розвитку теорії пізнання геомеханічних процесів.

**METHODICAL ASPECTS OF STUDY OF “FACE-END” GEOTECHNICAL
SYSTEM FOR GUARD CONSTRUCTION CREATION**

It is examined the question of choice of experimental and analytical research direction for knowledge theory development of geomechanical processes.

Проблема эффективности и безопасности угледобычи в сложных горно-геологических и интенсивных горно-технологических условиях непосредственно связана с изучением закономерностей, проявляющихся при освоении литосферного ресурса и подземного пространства и представляет собой крупную научно-техническую и важную народно-хозяйственную задачу. В связи с этим, в настоящее время, как никогда раньше, встала потребность определения направлений экспериментальных и аналитических исследований с целью развития теории познания геомеханических процессов в новых условиях эксплуатации угольных шахт и развития на базе получаемых результатов теории управления состоянием подземными природно-техническими системами. Характер этих направлений определяется, прежде всего, осмыслением современного состояния геомеханики угленосного массива, оценкой новых горно-геологических условий, а также пониманием узловых практических задач прикладной геомеханики угледобычи.

Если раньше проблема эксплуатации угольного месторождения носила больше чисто инженерный аспект, который затем трансформировался в геомеханический, а позже и в горно-экономический, то нынче она к тому же приобретает и социоэкономический аспект, связанный с выживанием человека в техногенно опасной подземной производственной сфере. Имманентно присущие природные свойства угленосной толще, при усиливающейся на нее техногенной нагрузке при добыче угля существенно изменяют ее состояния, которые зачастую вызывают вредные явления опасные для человека. Возникающее взаимодействие системы «человек – природа» обуславливает необходимость ослабления этих вредных явлений, что обязательно предполагает их оценку, предсказание и предотвращение. Таким образом, можно сформулировать научно-техническую парадигму изучения геомеханических процессов при отработке угольных пластов: прогноз, диагностика, контроль и управление ними являются постоянной задачей, требующей непрерывного со-