

углей марки Т уменьшение константы a_2 составляет примерно один порядок, что говорит об уменьшении влияния объемной газовой фазы за счет усиления взаимодействия метана с углем [8]. Это можно интерпретировать как уменьшение размера микропор (см. например [7]). Уменьшение константы b_2 свидетельствует об увеличении площади поверхности микропор угольного вещества.

Таким образом, полученные результаты позволяют на практике осуществлять расчеты давления адсорбированного газа с использованием уравнения Хилла при разработке способов дегазации угольного массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. S. J. Gregg, K. S. W. Sing Adsorption, Surface Area and Porosity: London and New York: Academic Press 1967, 371 p.
2. Бобин В. А. Сорбционные процессы в природном угле и его структура.– М: ИПКОН АН СССР, 1987. – 135 с.
3. У. Буркерт, Н. Эллингджер Молекулярная механика. –М: Мир, 1986, 364 с.
4. Kazuo Watanabe, Yoshikazu Matsumoto Excitation mechanisms and photochemistry of adsorbates with spherical symmetry// Faraday Discuss., 117, 2000, p 203- 211.
5. R. Okambawa, H. Benaddi, J.-M. St-Arnaud, Tapan K. Bose Gas-Solid Interaction and the Virial Description of the Adsorption of Methane on Steam-Activated Carbon// Langmuir #16, 2000, p. 1163–1166.
6. Vishnyakov A, Piotrovskaya E. M. and others “Critical properties of Lennard-Jones fluids in narrow slit-shaped pores”// Langmuir 2001, 17, p. 4451–4458.
7. Саранчук В. И., Айруни А. Т., Ковалев К. Е. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля.– К.: Наукова Думка, 1988. –190 с.
8. Минеев С. П., Прусова А. А., Корнилов М. Г. Энергия дисперсионной адсорбции в системе метан-уголь// Науковий вісник НГАУ №6 2002, с. 54 –56.

УДК 622.281.74

М.н.с. В.А. Мазин
(ИГТМ НАН Украины)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АНКЕРНОЙ КРЕПИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ БОКОВ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ

Визначені параметри склопластикового анкерного кріплення, які забезпечують достатню стійкість боків підготовчої виробки та збереження несучої здатності гірничого масиву. Розглянуті умови, при яких коефіцієнт анкерування досягає свого максимального значення.

RESEARCH OF INFLUENCING OF PARAMETERS OF A GLASS-FIBRE ANCHOR SUPPORT ON STABILITY OF SIDES OF DEVELOPMENT WORKING

The parameters of a glass-fiber anchor support are determined, which one ensures sufficient stability of sides of development working and conservation of bearing capacity of a mining massif. The conditions are reviewed at which one coefficient of a roof bolting reaches the maximum rating.

В отличие от крепей поддерживающего типа (арочные, трапециевидные и др. податливые металлические крепи), которые традиционно применяются для поддержания подготовительных выработок, анкерная крепь в массиве горных пород формирует конструкцию, обладающую значительной несущей способностью. Известно, что устойчивость системы «анкерная крепь – горный массив» в

значительной степени зависит от остаточной прочности пород, вмещающих выработку. Однако существующие методы расчета параметров анкерной крепи не учитывают изменение несущей способности горного массива с течением времени.

В монографии [1] вводится понятие коэффициента влияния анкерования η , равного отношению величины смещения контура выработки для заанкерованного к величине смещения неупрочненного горного массива:

$$\eta = \frac{u_r^a}{u_r^0}. \quad (1)$$

При этом в данной работе определение коэффициента анкерования сводится к исследованию отношения радиусов зон неупругих деформаций:

$$u_r = \beta \frac{\gamma H}{2G} r_L^{A+1}, \quad (2)$$

отсюда:

$$\eta = \left(\frac{r_L^a}{r_L^0} \right)^{A+1} \quad (3)$$

где r_L^a и r_L^0 - радиусы зон неупругих деформаций для заанкерованного и неупрочненного горного массива, соответственно; $A = \frac{1 - \sin \rho}{1 + \sin \rho}$ - параметр, зависящий от угла внутреннего трения пород ρ .

Однако максимальная эффективность работы анкерной крепи обеспечивается в том случае, если приконтурные породы остаются в ненарушенном состоянии, то есть во вмещающем подготовительную выработку массиве горных пород зона неупругих деформаций с потерей прочности горных пород не развивается. Это возможно в случае применения для крепления устойчивых и среднеустойчивых пород анкерной крепи нового технического уровня [2], обладающей высокой несущей способностью, при условии ее установке в период интенсивных неустановившихся деформаций горного массива без снижения его несущей способности.

Поэтому для определения величины коэффициента влияния анкерования целесообразно воспользоваться уравнением (1), а параметры анкерной крепи определяются из условия, что величина смещения контура выработки не должна превышать величину деформаций горных пород при сохранении их несущей способности. В этом случае коэффициент влияния анкерования при заданных параметрах крепи будет иметь максимальное значение.

Для определения смещений и напряженно-деформированного состояния закрепленного анкерами горного массива с необходимой точностью предлагается воспользоваться комплексным численным методом, включающем в себя разбиение рассматриваемого промежутка времени одномерной конечно-разностной схемой (шаг определяется исходя из точности решения) и аппроксимацией исследуемой области граничными или конечными элементами.

Уравнение состояния с учетом фактора времени, как правило, записывается в виде зависимости скорости деформаций от величины напряжений и деформаций

$$\{\dot{\epsilon}^{vp}\} = \frac{d}{dt} \{\epsilon^{vp}\} = \beta(\{\sigma\}, \{\epsilon^{vp}\}), \quad (4)$$

где $\{\sigma\}$ – вектор напряжений; $\{\dot{\epsilon}^{vp}\}$ – вектор скорости вязкоупругих деформаций; $\{\epsilon^{vp}\}$ – вектор вязкоупругих деформаций.

Полная деформация $\{\epsilon\}$ равна сумме упругой $\{\epsilon^e\}$ и вязкоупругой составляющих

$$\{\epsilon\} = \{\epsilon^e\} + \{\epsilon^{vp}\}. \quad (5)$$

Напряжения связаны с упругими деформациями законом Гука

$$\{\sigma\} = [D]\{\epsilon^e\} = [D](\{\epsilon\} - \{\epsilon^{vp}\}). \quad (6)$$

Уравнение равновесия имеет вид

$$\int_V [B^T] \{\sigma_n\} dV - \{R_n\} = 0, \quad (7)$$

где $\{R_n\}$ – вектор узловых сил, зависящий от временного фактора и обусловленный действием поверхностных и объемных нагрузок.

При заданных начальных условиях уравнения (4) и (7) образуют систему обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с нелинейными коэффициентами. Для решения этой системы применяются прямые методы интегрирования с пошаговой по времени процедурой, а задача решается для отдельных интервалов времени Δt . Аппроксимация величин, зависящих от времени, на шаге Δt обычно проводится одним из конечно-разностных методов, от выбора которого в значительной степени зависит точность и устойчивость процесса решения. Для приращения $\Delta t_n = t_{n+1} - t_n$ уравнение равновесия имеет вид

$$\int_V [B^T] \{\Delta\sigma_n\} dV - \{\Delta R_n\} = 0, \quad (8)$$

где $\{\Delta R_n\}$ - приращение вектора узловых сил, обусловленное изменением нагрузок в интервале времени Δt_n .

Приращение напряжений $\{\Delta \sigma_n\}$ зависит от приращений деформаций. В соответствии с уравнением (4) можно определить приращение вязкоупругих деформаций на шаге Δt_n по неявной схеме через скорости вязкоупругих деформаций в моменты времени t_n и t_{n+1} следующим образом

$$\{\Delta \epsilon_n^{vp}\} = \Delta t_n \left[(1 - \theta) \{\dot{\epsilon}_n^{vp}\} + \theta \{\dot{\epsilon}_{n+1}^{vp}\} \right], \quad (9)$$

где $0 \leq \theta \leq 1$.

В соотношении (9) предполагается линейное изменение скорости вязкоупругих деформаций в интервале времени от t_n до t_{n+1} .

В зависимости от выбора значения θ возможны следующие методы интегрирования:

- а) $\theta = 0$ - метод Эйлера (прямой метод);
- б) $\theta = 1/2$ - метод Кранка-Никольсона (метод трапеций);
- в) $\theta = 1$ - обратный метод.

Метод Эйлера – метод явного интегрирования, так как приращение вязкопластических деформаций определяется исходя из напряженно-деформированного состояния в момент времени t_n . Для решения методом Кранка-Николсона и обратным методом в соотношении (9) для момента времени t_{n+1} воспользуемся разложением в ряд Тейлора

$$\{\dot{\epsilon}_{n+1}^{vp}\} = \{\dot{\epsilon}_n^{vp}\} + [H_n] \{\Delta \sigma_n\}, \quad (10)$$

где $[H_n] = \left[\frac{\partial \{\dot{\epsilon}_n^{vp}\}}{\partial \{\sigma\}} \right]_n = [H_n(\{\sigma_n\})]$.

Тогда соотношение (9) можно переписать следующим образом

$$\{\Delta \epsilon_n^{vp}\} = \{\dot{\epsilon}_n^{vp}\} \Delta t + [C_n] \{\Delta \sigma_n\}, \quad (11)$$

где $[C_n] = \theta \cdot \Delta t_n [H_n]$.

Приращение напряжений $\{\Delta \sigma_n\}$ равно произведению приращения упругих деформаций $\Delta \epsilon_n^e$ на матрицу упругости

$$\{\Delta \sigma\} = [D] \{\Delta \epsilon_n^e\} = [D] \left(\{\Delta \epsilon_n\} - \{\Delta \epsilon_n^{vp}\} \right). \quad (12)$$

Приращение деформаций через приращение узловых перемещений выражается зависимостью

$$\{\Delta\epsilon_n\} = [B]\{\Delta d_n\}. \quad (13)$$

Используя зависимости (12) и (13) определим приращение деформаций $\{\Delta\epsilon_n^{vp}\}$:

$$\{\Delta\epsilon_n^{vp}\} = [B]\{\Delta d_n\} - [D]^{-1}\{\Delta\sigma_n\} \quad (14)$$

$$\{\epsilon_{n+1}^{vp}\} = \{\epsilon_n^{vp}\} + \{\Delta\epsilon_n^{vp}\}$$

При решении конкретных задач важным этапом является выбор интервала Δt , от чего в значительной степени зависит точность и устойчивость решения. Схема интегрирования является устойчивой, если ошибка численного интегрирования не возрастает прогрессивно в процессе счета и отсутствуют незатухающие осцилляции в получаемом решении. При $\theta \geq 1/2$ схема интегрирования безусловно устойчива и ограничений на интервал Δt нет. При решении задач ползучести связь между пространственной и временной характеристикой отсутствует, то есть выбор шага Δt не зависит от размеров и формы элементов, аппроксимирующих расчетную область. Поэтому выбор шага Δt определяется необходимой точностью решения.

Устойчивость заанкерованных пород кровли, особенно в случае прямоугольного поперечного сечения подготовительной выработки, в значительной степени зависит от сдерживания бокового отжима. Расположение анкеров в поперечном сечении выработки показано на рисунке 1.

Для расчета параметров анкерной крепи, используемой для поддержания боков подготовительных пластовых выработок можно воспользоваться следующими соотношениями [3]:

1) для определения длины анкера:

$$l_a = h\psi\eta + l_1 \quad (15)$$

где: h – высота подготовительной выработки; $\psi = \frac{k_{сж.} \gamma H}{1000 f^{\sigma}} - 1$ – коэффициент,

который характеризует устойчивость боков выработки (если ψ меньше нуля, то бока устойчивы и анкерная крепь может быть использована, например, в качестве ограждающей); $k_{сж.}$ – коэффициент концентрации сжимающих напряжений (для выработки прямоугольного поперечного сечения принимается рав-

ным 3); γ – средняя плотность пород, залегающих над выработкой; H – глубина заложения выработки; f^{ρ} – коэффициент крепости боковых пород по шкале проф. М.М. Протоdjeяконова; $\eta = \operatorname{tg}\left[\left(90^{\circ} - \rho^{\rho}\right)/2\right]$ – коэффициент, характеризующий наклон призмы сползания в боках выработки; l_1 – длина анкера, выступающая за контур выработки.

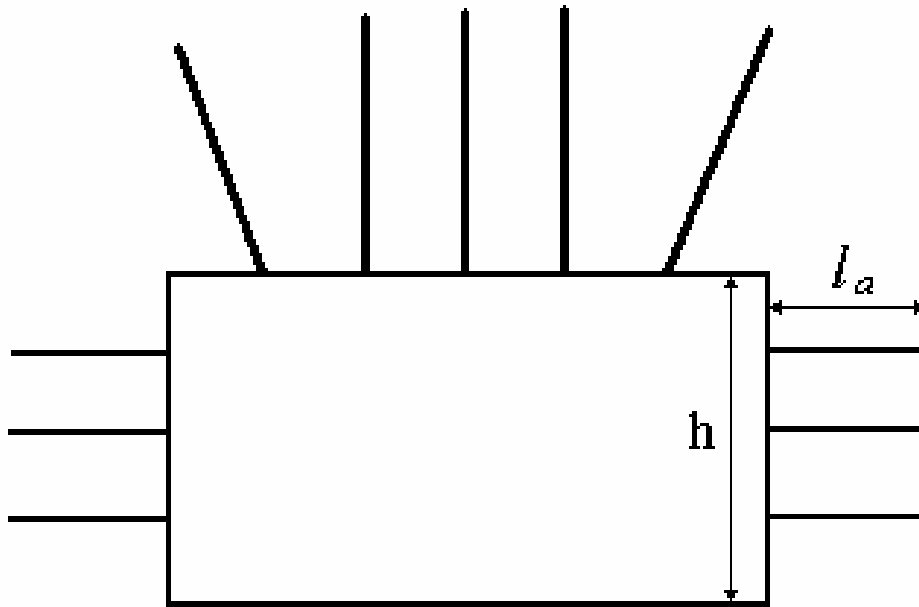


Рис.1 – Схема расположения анкеров в кровле и боках подготовительной выработки

2) область действия сжимающих напряжений, образующаяся в окрестности анкера, ограничивается двумя конусами, образующие которых составляют с осью стержня анкера угол, равный $\varphi = \operatorname{arctg}\sqrt{2A}$, где коэффициент A зависит от угла внутреннего трения ρ^{ρ} : $A = \frac{1 - \sin \rho^{\rho}}{1 + \sin \rho^{\rho}}$. Тогда площадь влияния одного анкера определится из условия, что зоны сжатия от соседних зон должны соприкасаться по формуле:

$$F_a = \pi \left[\frac{l_a \cdot \operatorname{tg} \varphi}{2} \right]^2 \quad (16)$$

Величина несущей способности анкеров, используемых для крепления боков выработки, зависит от плотности их установки, величины бокового горного давления и остаточной несущей способности горных пород в боках штрека и определяется формулой:

$$P_a = k_3 \left(\frac{k_6 \gamma H - q_6}{\mu_6 \cdot h} \right) \quad (17)$$

где k_3 - коэффициент запаса, равный 2; k_6 - коэффициент бокового распора; q_6 - величина остаточной несущей способности горных пород в боках выработки; μ_6 - плотность установки крепи.

Формула (17) может быть использована для расчета крепления боков выработки вне зоны влияния очистных работ.

Применение металлических анкеров для крепления боков пластовой пологой выработки недопустимо в связи с тем, что болты анкерной крепи затрудняют работу очистного комбайна на сопряжении лавы со штреком, что может привести к аварийной ситуации.

Поэтому использование деревянных клинощелевых анкеров не обеспечивает достаточной несущей способности в силу того, что они имеют низкую прочность (7-35 кН), существенно зависящую от качества, сорта и влажности древесины, а также от состояния поверхности шпура.

Альтернативой может служить применение стеклопластиковых анкеров, закрепляемых по всей длине шпура (например, химическим связующим на основе карбамидных смол).

На основе приведенных расчетов и экспериментальных исследований можно утверждать, что стеклопластиковые анкеры длиной 1,5-2 м и несущей способностью 100 кН обеспечивают достаточную устойчивость боков подготовительных выработок в широком диапазоне горно-геологических условий. При этом данный вид крепи отличается высокой технологичностью и низкой себестоимостью.

Как правило, при подходе лавы нагрузка на крепь в боках штрека увеличивается в 1,5-3 раза [4], что необходимо учитывать при определении параметров крепи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. Киев: Наук. думка, 1989. – 192 с.
2. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / Ин-т геотехнической механики НАН Украины. Днепропетровск. – 2002. – 372 с.
3. Широков А.П., Горбунов В.Ф. Повышение устойчивости горных пород. – Новосибирск: Наука, 1983. – 168 с.
4. Мазин В.А. Исследование влияния очистных работ на устойчивость боков подготовительной выработки прямоугольного поперечного сечения, закрепленной анкерной крепью // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотех. мех. НАН Украины. – Днепропетровск, 2003. – Вып. 47. – С. 235-239.