

отделения породы на вибрационной машине с колеблющимся решетом выдерживает экономическое сравнение с другими процессами того же назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фроль М., Хайнтгес З. Предварительное отделение породы в отсадочной машине с подвижным решетом на шахте «Эмиль Майриш» // Глюкауф. – 1986, № 17. – с. 20-24.
2. Давыдов М.В. С заседания секции «Обогащение и переработка угля» НТС компании «Росуголь» // Уголь. – 1995, № 12. – с. 51-54.
3. Шевченко Г.А. Технология гидравлического обогащения угля в стоячей среде разделения. Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов / Ин-т геотехнической механики НАН Украины. – Дн-ск, 1999. – Вып. 13. – с. 124-132.
4. Шевченко Г.А., Шевченко В.Г. Оценка технико-экономических показателей вибрационной технологии обогащения углей и обоснование ее применения на шахтных фабриках модульного типа. Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов / Ин-т геотехнической механики НАН Украины. – Дн-ск, 2001. – Вып. 19. – с. 46-53.
5. Мухин А.В., Черватюк В.Г., Шевченко Г.А., Скипочка С.И. Обогащение горной массы в условиях поверхностного комплекса шахты – реальный путь повышения качества угля // Сб. научн. трудов Национальной горной академии Украины, № 43. Том 4. – Дн-ск, НГА Украины, 1998. – с. 104-106.

УДК 622.28.044-112.3

В.И. Бондаренко, Г.А. Симанович,
И.А. Ковалевская

КРИТЕРИЙ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ УСТАВНОВКИ БЕЗЗАМКОВЫХ ШТАНГ С НАЧАЛЬНЫМ ДАВЛЕНИЕМ НА КОНТАКТЕ С ПОРОДОЙ

Визначено раціональний інтервал допустимих змін радіальних напружень на контакті беззамкових штанг з породними стінками шпуру.

CRITERION OF PARAMETERS CHOICE OF LOCLESS BARS INSTALLATION WITH INITIAL PRESURE ON CONTACT WITH ROCK

The rational interval of permitted changes in radial stresses on contact lockless bars with rock walls of a well.

Многообразие конструкций беззамковых штанг характеризуются (за исключением винтовых) рядом общих принципов силового взаимодействия со вмещающими породами.

Во-первых, закрепление рассматриваемых конструкций беззамковых штанг осуществляется в основном посредством сил трения и сцепления (адгезии). Так, решающую роль в закреплении трубчатых штанг играют силы трения, железобетонной, полимерной и сталеполимерной – силы сцепления, а трубчатой с закрепляющим слоем, железобетонной и сталеполимерной когда применяется расширяющийся при твердении состав – одновременно силы трения и сцепления.

Во-вторых, основную растягивающую нагрузку воспринимает несущий элемент (стержень, цилиндр), непосредственно или через закрепляющий слой, контактирующий с породными стенками шпура. По этим контактам действуют касательные напряжения, реализующиеся благодаря силам трения, сцепления или их комбинации.

В-третьих, взаимодействие беззамковой штанги с породой характеризуется не только прямой, но и обратной связью нормальных растягивающих напряжений в несущем элементе и касательных напряжений, действующих по поверхностям контактов несущего элемента со стенками шпура или с закрепляющим слоем. Объясняется это тем, что в процессе деформирования заштангованного массива в окрестности горной выработки через контакт породы с несущим элементом штанги последний нагружается осевыми растягивающими усилиями, под воздействием которых он деформируется (поскольку материал несущего элемента не обладает абсолютной жесткостью), что способствует изменению в той или иной степени существующего поля напряжений в системе “штанга-порода”.

Схожесть основных черт силового взаимодействия штанг с породными стенками шпура заложена в самой идее упрочнения вмещающего выработку породного массива беззамковой штанговой крепью и обуславливает единый по своей сути механизм деформирования беззамковых штанг совместно со стенками шпура под воздействием осевой нагрузки.

Исследование механизма взаимодействия системы “беззамковая штанга - порода” в процессе установки штанги с начальными радиальными напряжениями (давлением) является основой для разработки критерия выбора параметров установки штанг (заряд ВВ, давление во внутренней полости для установки трубчатых штанг; величина объемного расширения закрепляющего слоя при его твердении – для железобетонных и сталеполимерных штанг) путем определения рационального интервала изменения требуемых радиальных напряжений на контакте штанги со стенками шпура. Верхняя граница интервала определяется максимально допустимыми радиальными напряжениями $\sigma_{r_{max}}$, не вызывающими макроразрушения стенок шпура с учетом их дилатансии. Нижняя граница $\sigma_{r_{min}}$ равна установившемуся давлению $\sigma_{r_{\infty}}$ плюс величина потери радиальных напряжений при упругой разгрузке несущего элемента. Возможность изменения радиальных напряжений в некотором интервале их значений весьма благоприятно сказывается на эффективности регулирования параметров установки штанг. Изучение механизма деформирования стенок шпура под действием радиальных напряжений σ_r указывает на три последовательных стадии их состояния: упруго-пластическое с образованием радиальных микротрещин разрыва от действия растягивающих тангенциальных напряжений σ_{θ} , стабилизация величины раскрытия радиальных микротрещин в условиях пластического течения и закрытие радиальных микротрещин с появлением сжимающих тангенциальных напряжений в предельном и запредельном состояниях деформирования при дилатансии породных стенок шпура. Для расчета максимально допустимых радиальных напряжений использовано полученное в работе [1] экспоненциальное уравнение предельного состояния горных пород

$$\sigma_r - \sigma_{\theta} = \sigma_{сж} \exp\left(T \frac{\sigma_{\theta}}{\sigma_r}\right), \quad 1)$$

где T – коэффициент, постоянный для данного типа породы [1]; $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы при одноосном сжатии.

Неизвестная в уравнении (1) величина тангенциальных напряжений σ_θ определяется следующей системой уравнений

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_\theta &= (2\mu - 1)\varepsilon_r; \quad \varepsilon_\theta = \frac{\sigma_\theta}{E(\varepsilon_i)}; \\ \varepsilon_r &= \frac{1}{E(\varepsilon_i)} [\sigma_r - \mu(\sigma_\theta + \sigma_z)]; \\ \sigma_z &= \mu(\sigma_r + \sigma_\theta); \quad \mu = \mu_0 \exp\left(-\Gamma \frac{\sigma_\theta}{\sigma_r}\right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где μ – коэффициент поперечной деформации породы; $E(\varepsilon_i)$ – функция зависимости модуля упругости породы от интенсивности деформации ε_i ; σ_z – осевая компонента напряжений; μ_0 и Γ – коэффициенты, постоянные для данного типа горной породы [1].

В системе уравнений (2) первое уравнение связывает радиальную ε_r и тангенциальную ε_θ деформации при дилатансии породных стенок шпура. Второе и третье уравнения являются физическими, а четвертое отражает условие плоской деформации породных стенок шпура в осевом направлении. Пятое уравнение определяет зависимость коэффициента поперечной деформации μ

от вида напряженного состояния $C = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_r}$ элементарного породного объема [1].

При решении системы (2) учтено, что величина отношения $\frac{\sigma_z}{\sigma_r}$, как правило,

больше значения 0,5, при котором в соответствии с данными работы [1] коэффициент μ стремится к значению 0,5. В результате получено выражение для расчета величины отношения тангенциальной компоненты к радиальной

$$C = \frac{1.5\mu_0 e^{-\Gamma C} - 0,75}{0,75 - 0,5\mu_0 e^{-\Gamma C} + 2\mu_0^2 e^{-2\Gamma C}} \quad (3)$$

Тогда максимально допустимое радиальное напряжение на контакте штанги с породными стенками шпура с учетом (1) определяется по формуле

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{\sigma_{сж}}{1 - C} \exp \Gamma C \quad (4)$$

Для определения нижней границы $\sigma_{r_{min}}$ интервала рационального изменения максимальных радиальных напряжений σ_r составим уравнение совместности радиальных перемещений на контакте штанги с породными стенками шпура в процессе разгрузки системы

$$U_1 = U_2 + U_3 \quad (5)$$

где U_1 – радиальное перемещение при разгрузке породных стенок шпура; U_2 – радиальное перемещение при разгрузке несущего элемента; U_3 – радиальное перемещение при упругом нагружении несущего элемента.

Принимая во внимание, что при разгрузке породные стенки шпура, как и материал несущего элемента, деформируются упруго, для расчета перемещений U_1 , U_2 и U_3 использованы формулы [2] с учетом общей схемы поперечного сечения системы "беззамковая штанга-порода" в виде трехслойного цилиндра, в которой отражены основные геометрические параметры: железобетонной и сталеполимерной штанг ($r_1 = 0$), трубчатой ($r_2 = r_3$) и трубчатой с закрепляющим слоем

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \frac{1 + \mu}{E} r_3 [\sigma_{r_{min}} - \sigma_{r_{\infty}}]; \\ U_2 &= \frac{1 - (\mu^I)^2}{E^I} r_2 \left[\sigma_T + \frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \sigma_{r_{min}} \right]; \\ U_3 &= \frac{1 - (\mu^I)^2}{E^I} r_3 \left[2(1 - \mu^I) \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \right] \sigma_{r_{\infty}}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где r_1 – внутренний радиус трубчатой штанги; r_2 – наружный радиус несущего элемента рассматриваемых видов штанг; r_3 – радиус шпура; E^I , μ^I и σ_T – модуль упругости, коэффициент Пуассона и предел текучести материала несущего элемента соответственно.

Решая совместно уравнение (5) с системой (6), получаем формулу для расчета величины нижней границы радиальных напряжений

$$\sigma_{r_{min}} = \left(\frac{1 - (\mu^I)^2}{E^I} r_2 \sigma_T + \sigma_{r_{\infty}} \right) \left\{ \frac{1 + \mu}{E} r_3 + \frac{1 + \mu^I}{E^I} r_2 \right\}$$

$$\times \left[2 - (1 - \mu^I) \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} - 1 \right] \left. \right\} \left. \right) \cdot \left[\frac{1 + \mu}{E} r_3 - 2 \frac{1 - (\mu^I)^2}{E^I} \cdot \frac{r_2^3}{r_2^2 - r_1^2} \right]^{-1} \quad (7)$$

Формула (7) справедлива для определения параметра $\sigma_{r_{min}}$ в первом и во втором случаях разгрузки системы “беззамковая штанга - порода”, то есть, когда установившееся давление σ_{r_∞} на контакте определяется либо по формуле

$$\sigma_{r_\infty} = \frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2} \sigma_T, \text{ либо по формуле } \sigma_{r_\infty} = (\sigma_{сжс})_\infty. \text{ Если механические параметры системы “беззамковая штанга - порода” таковы, что установившееся давление } \sigma_{r_\infty} \text{ меньше величин предела длительной прочности породы на сжатие } (\sigma_{сжс})_\infty \text{ и начала пластического течения штанги } \sigma_{r_{nl}} \text{ (третий случай разгрузки), то величину } \sigma_{r_{min}} \text{ следует определять по формуле (8)}$$

$$\sigma_{r_{min}} = \left\{ \sigma_{r_{max}} \left[\frac{1 + \mu}{E} r_3 - 2 \frac{1 - (\mu^I)^2}{E^I} \cdot \frac{r_2^3}{r_2^2 - r_1^2} \right] - r_2 \frac{1 - (\mu^I)^2}{E^I} \sigma_T \right\} \times \left[\frac{1 + \mu}{E} r_3 + \frac{1 + \mu^I}{E^I} r_2 \left(2r_2^2 \frac{1 - \mu^I}{r_2^2 - r_1^2} - 1 \right) \right]^{-1} \quad (8)$$

Таким образом, определен рациональный интервал $\sigma_{r_{max}} \dots \sigma_{r_{min}}$ допустимых изменений радиальных напряжений на контакте беззамковых штанг с породными стенками шпура, который является основным критерием выбора оптимальных параметров установки штанг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. – М.: Недра, 1979. – 300 с.
2. Любошиц М.И., Ицкович Г.М. Справочник по сопротивлению материалов. – Минск: Высшая школа, 1969. – 464 с.