

ГЕОМЕХАНИКА

УДК 622.241.54

Н. В. Черданцев

УСТОЙЧИВОСТЬ СОПРЯЖЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТВОЛА И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ

Области разрушения вокруг сопряжений обычно определяют по модифицированной формуле Протодьяконова с использованием элементов теории подобия [1]. Формула Протодьяконова определяет свод обрушения горных пород для одиночной протяжённой выработки. Известно, однако, что горные породы, вмещающие сопряжения, в отличие от протяжённых выработок находятся в объёмном напряжённом состоянии, которое, как правило, является менее разрушающим, чем соответствующее плоское, поэтому необходимо уметь его вычислять.

Здесь полагается [2], что горные породы, как среда, имеющая упорядоченные поверхности ослабления, разрушается прежде всего по этим поверхностям. Поэтому используется понятие «зоны нарушения сплошности» ((ЗНС)) – некой области, в которой условие прочности по этой поверхности не соответствует условию Кулона :

$$\tau_v \leq \sigma_v n + K, \quad (1)$$

где τ_v и σ_v - соответственно касательное и нормальное напряжение по поверхности ослабления, n и K - соответственно коэффициенты внутреннего трения и сцепления поверхностей ослабления.

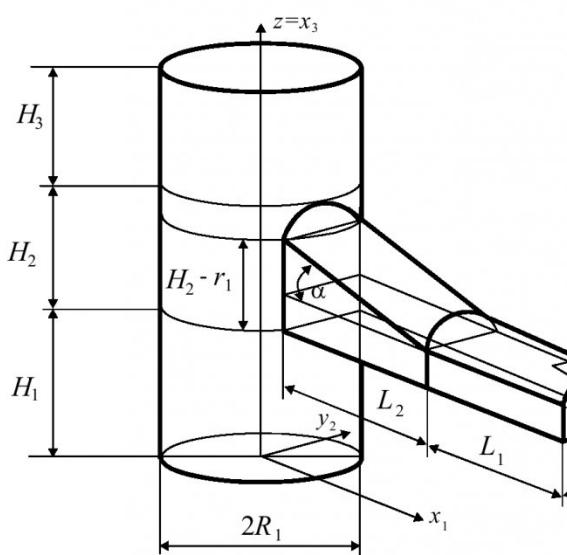


Рис.1. Общий вид сооружения: ствол – горизонтальная выработка

Рассмотрим полость в виде сопряжения вертикального ствола с горизонтальной выработкой сводчатого поперечного сечения (рис. 1), находящихся внутри бесконечного массива, на сторонах которого действуют вертикальные $\sigma_{33}^{\infty} = \gamma H$ и

горизонтальные $\sigma_{11}^{\infty} = \sigma_{22}^{\infty} = \lambda \gamma H$ напряжения, где λ - коэффициент бокового давления. Найдём зоны нарушения сплошности вокруг заданного сооружения. Для определения напряжённого состояния вокруг сооружения воспользуемся методом граничных интегральных уравнений, сущность которого заключается в следующем [3]. К поверхности полости прикладывается вектор a компенсирующей нагрузки неизвестной пока величины. Суммарные напряжения от действия внешней и компенсирующей нагрузок в каждой точке полости должны удовлетворять условиям на поверхности. Напряжения от компенсирующей нагрузки определяются путем интегрирования произведения тензора Кельвина, являющегося решением задачи о единичной силе, приложенной в бесконечном массиве, на вектор внешней нормали в точке полости в пределах её площади.

В результате условие на контуре приводится к интегральному уравнению [3] относительно неизвестного вектора a :

$$\frac{1}{2} a_q(Q_0) - \iint\limits_O \Phi_{qm}(Q_0, M_0) a_m(M_0) dO_{M_0} \quad (2)$$

$$= n_q(Q_0) \sigma_{qq}^{\infty} - F_q(Q_0)$$

В уравнении (2) $\Phi_{qm}(Q_0, M_0)$ - тензор влияния определяется как

$$\Phi_{qm}(Q_0, M_0) = \frac{1}{8\pi(1-\nu)R^3} \times$$

$$\times \left\{ \begin{array}{l} (1-2\nu)(x_q n_m - x_m n_q + \delta_{qm} x_t n_t) \\ + 3 \frac{x_q x_m x_t n_t}{R^2} \end{array} \right\}.$$

Здесь ν - коэффициент Пуассона, индексы q , $m, t = 1, 2, 3$ - номера координатных осей, Q_0 и M_0 – на поверхности исследуемой полости, R - рас-

стояние между точками Q_0 и M_0 , δ_{qm} - символ Кронекера ($\delta_{qm}=1$ при $q = m$, $\delta_{qm}=0$ при $q \neq m$)
 σ_{qq}^∞ - тензор напряжений на бесконечности, O - площадь поверхности полости, n_q , n_m - направляющие косинусы внешних к поверхностям нормалей в точках Q_0 , M_0 .

Уравнение (2) решается численно. Сначала поверхность полости заменяется конечным числом N плоских элементов и интеграл заменяется суммой. Затем производится интегрирование по каждому элементу, при этом считается, что в пределах элемента интенсивности a и F постоянны. В результате этой процедуры интегральное уравнение (2) заменяется N векторными уравнениями:

$$\frac{1}{2}a_{q,i}^* - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \Phi_{qm,ij} a_{m,j}^* \Delta O_i = n_{q,i} t_{qq,i}^\infty - F_{q,i}^*, \quad (3)$$

где i - номер точки на контуре, в которой формулируется граничное условие, j - номер текущей точки на контуре, а суммирование производится по всем $j \neq i$;

$$a_{q,i}^* = a_{q,i} \Delta O_i, \quad a_{m,j}^* = a_{m,j} \Delta O_j,$$

$$t_{qq,i}^\infty = \sigma_{qq,i}^\infty \Delta O_i, \quad F_{q,i}^* = F_{q,i} \Delta O_i;$$

здесь и в дальнейшем индексы тензоров и векторов отделены точкой от индексов точек контура.

После решения уравнений (3) относительно $a_{q,i}^*$ определяются напряжения σ_{qm} , в любой точке k массива, с помощью принципа суперпозиции:

$$\sigma_{qm,k} = \sigma_{qmt,k} \underset{j}{\sum} a_{t,j}^* + \sigma_{qq,k}^\infty. \quad (4)$$

В формуле (4) используется правило тензорного исчисления: по повторяющимся индексам производится суммирование в пределах изменения этих индексов. σ_{qmt} представляет собой тензор Кельвина, определяемый как

$$\sigma_{qmt} = \frac{1}{8\pi(1-\nu)R^3} \times \left[(1-2\nu)(\delta_{mt}x_q + \delta_{qt}x_m - \delta_{qm}x_t) + \frac{3x_q x_m x_t}{R^2} \right].$$

Нормальные σ_ν , касательные τ_ν и полные напряжения p_ν в произвольной точке на поверхности ослабления с нормалью ν находятся по известным формулам определения напряжений по наклонным площадкам

$$\sigma_\nu = \sigma_{qm} l_q l_m, \quad p_\nu^2 = \sum_{q=1}^3 (\sigma_{qm} l_m)^2, \\ \tau_\nu = \sqrt{p_\nu^2 - \sigma_\nu^2},$$

где l_q , l_m - направляющие косинусы углов между

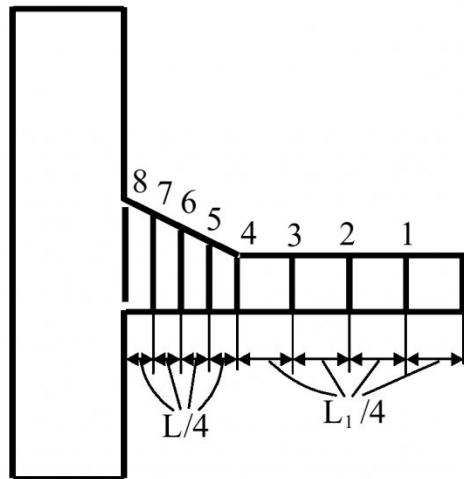


Рис. 2. Схема сооружения с расчётными сечениями

нормалью ν и координатными осями x_1 , x_2 , x_3 .

Разрушенные области или зоны нарушения сплошности (ЗНС) вокруг сооружения находятся как совокупность точек, в которых произошло разрушение поверхностей ослабления пород по критерию прочности (1).

Рассмотрен пример сопряжения вертикального ствола с горизонтальной выработкой круговой сводчатой формы в гидростатическом поле напряжений ($\lambda=1$) с горизонтальными поверхностями ослабления, для которых принят коэффициент сцепления $K=0$ и угол внутреннего трения $\varphi=20^\circ$, крепь отсутствует $F=0$.

На рис.2 приведён план сооружения с сечениями, в которых найдены ЗНС. Приняты следующие параметры выработок и сопряжения: $r_1=1$, $h=1$, $R_1=2$, $L=4$, $L_1=7$, $H_1=3R_1=6$, $H_2=2R_1=4$, $H_3=5R_1=10$, $\alpha=\arctg((H_2-r_1-h)/L)=36,87^\circ$,

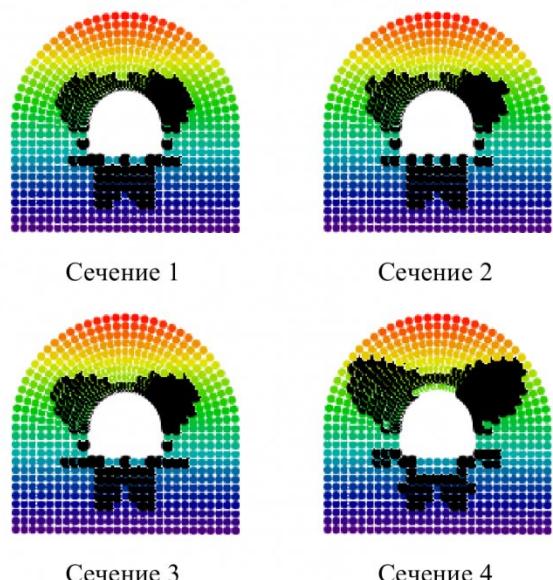


Рис. 3. Зоны нарушения сплошности в различных сечениях горизонтальной выработки (см. рис. 2)

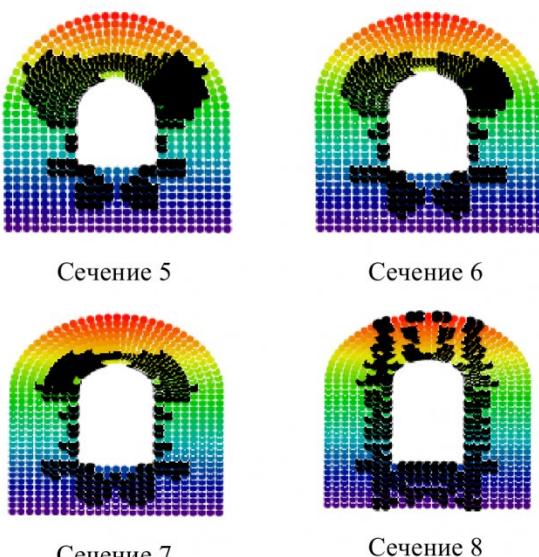


Рис. 4. Зоны нарушения сплошности в различных сечениях сопряжения (см. рис. 2)

$$\varphi = \arcsin(r_1/R_1) = 30^\circ.$$

Для определения напряжений и ЗНС вокруг заданного сооружения использована система

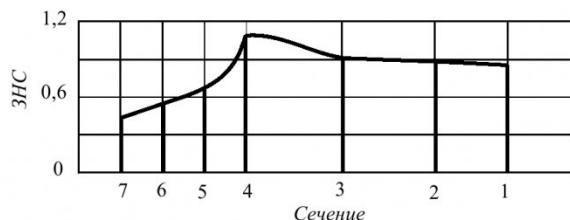


Рис. 5. Изменение вертикального размера зоны нарушения сплошности по сечениям выработки и сопряжения (см. рис. 2)

MATCAD.

На рис. 3, 4 приведены зоны нарушения сплошности в некоторых сечениях горизонтальной выработки и сопряжения, на рис.5 - график изменения вертикального размера зоны нарушения сплошности горизонтальной выработки и сопряжения при различных сечениях сооружения.

Из графика следует, что наибольший вертикальный размер ЗНС приходится на сечение 4, т.е. сечение, в котором начинается переход от горизонтальной выработки к стволу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Широков А.П., Писляков Б.Г. Расчет и выбор крепи сопряжений горных выработок. - М.: Недра, 1988.-214 с.
2. Изаксон В.Ю. Методы расчета устойчивости выработок, пройденных комбайнами, в условиях Кузбасса: Дис. ... докт. техн. наук. Новосибирск, 1975. – 361с.
3. Лурье А. И. Теория упругости. - М.: Наука. - 1970. -940 с.

□Автор статьи:

Черданцев

Николай Васильевич

- канд. техн. наук, докторант каф.
строительства подземных сооруже-
ний и шахт

УДК 622.272 : 516.02

С.В. Черданцев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИНТОВОЙ КРЕПИ В УСЛОВИЯХ ЕЕ СОВМЕСТНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ С МАССИВОМ ГОРНЫХ ПОРОД

По данным авторов [1] подавляющее большинство горизонтальных и наклонных вскрывающих выработок, а также подготовительных откаточных штреков, бремсбергов и уклонов шахт Кузбасса крепят металлической трехзвенной крепью КМП - А3 из спецпрофиля СВП.

В зависимости от реализации механических процессов в массиве горных пород возможны три характерных режима взаимодействия крепи и массива [2]: а) режим заданной нагрузки, когда ее величина не зависит от деформационных характеристик крепи; б) режим заданных деформаций, при котором величина деформаций не зависит от

деформационных характеристик крепи; в) режим взаимовлияющих деформаций, когда величина нагрузки зависит от деформационных характеристик крепи.

Выбор крепи КМП - А3 для крепления выработок шах Кузбасса не случаен, поскольку эта крепь способна надежно работать во всех перечисленных режимах. Для работы крепи в режиме заданных и взаимовлияющих деформаций необходимо, чтобы крепь была податливой, в противном случае она может разрушиться. Одним из мероприятий по обеспечению податливости крепи является выбор материала для забутовки закреп-