

Nina FOTIEVA, Andrew SAMMAL  
Tula State Technical University, Tula, RUSSIA

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАВНОПРОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БЕТОННОЙ КРЕПИ СТВОЛОВ В СОЧЕТАНИИ С АНКЕРАМИ

Резюме. Предлагается метод определения параметров равнопрочных конструкций крепи стволов из бетона в сочетании с анкерами. Метод позволяет построить номограмму для определения параметров анкеров: относительной длины, несущей способности и плотности их установки при заданной относительной толщине бетонной крепи.

## OKREŚLENIE PARAMETRÓW RÓWNOWYTRZYMAŁYCH KONSTRUKCJI OBUDOWY BETONOWEJ SZYBÓW W POŁĄCZENIU Z KOTWIAMI

Streszczenie. Proponowana jest metoda określania parametrów równowytrzymałych konstrukcji betonowej obudowy szybów w połączeniu z kotwiami. Metoda pozwala zbudować nomogram do określania parametrów kotwi: długości względnej, nośności oraz gęstości rozmieszczenia dla zadanej grubości względnej obudowy betonowej.

## EVALUATING PARAMETERS OF EQUALLY STRONG CONSTRUCTIONS OF CONCRETE SHAFT LINING IN COMBINATION

Summary. The method of determining parameters of equally strong constructions of shaft lining from concrete in combination with anchors is proposed. Method allows to plot a nomograph for evaluating the anchors parameters: the relative length, the carrying capacity and the density of their installation at the given relative thickness of concrete lining.

При проектировании крепи подземных сооружений, в частности, шахтных стволов может быть выявлен ряд равнопрочных конструкций, обладающих необходимой несущей способностью в определенных горно-геологических условиях. Сравнение этих конструкций по технико-экономическим показателям приводит к наиболее экономичным проектным решениям.

С этой целью в Тульском государственном техническом университете разработан метод расчетного определения параметров равнопрочных конструкций бетонной крепи стволов в сочетании с анкерами.

Варианты конструктивных решений различаются толщиной бетонной крепи, длиной и несущей способностью применяемых анкеров, плотностью их установки (количеством анкеров на  $1 \text{ м}^2$  поверхности выработки).

В основу метода положено аналитическое решение плоской контактной задачи для двуслойного кругового кольца (внутренний слой моделирует бетонную крепь, наружный - зону пород, укрепленных анкерами) в линейно-деформируемой вязкой среде, моделирующей массив пород. Расчетная схема приведена на рис. 1.

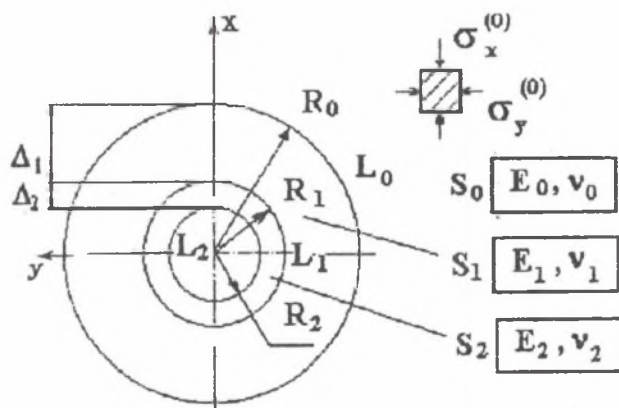


Fig. 1. Designed scheme  
Rys. 1. Schemat obliczeniowy

Среда, моделирующая массив пород, характеризуется модулем деформации  $E_0$  и коэффициентом Пуассона  $\nu_0$ . Зона пород, дискретно укрепленная анкерами, имеющая толщину  $\Delta_1$ , равную длине анкеров  $l_a$ , рассматривается в расчетной схеме как однородный слой  $S_1$  с приведенным модулем деформации  $E_1$ , определяемым в зависимости от модуля деформации пород  $E_0$ , несущей способности анкеров  $P_a$  и плотности их установки  $\rho_a$  на основе

экспериментальных результатов, полученных в работе [1], и коэффициентом Пуассона  $\nu_1 = \nu_0$ . Внутренний слой кольца  $S_2$  толщиной  $\Delta_2 = R_1 - R_2$  ( $R_1, R_2$  - соответственно радиусы ствола в проходке и в свету) с деформационными характеристиками  $E_2, \nu_2$  моделирует бетонную крепь.

Среда  $S_0$  и слои кольца  $S_1, S_2$  деформируются совместно, т.е. на линиях контакта  $L_0, L_1$  выполняются условия непрерывности векторов смещений и полных напряжений. Внутренний контур  $L_2$  свободен от действия внешних сил. Действие собственного веса пород моделируется заданием в области  $S_0 + S_1$  начального поля напряжений

$$\sigma_x^{(0)} = \sigma_y^{(0)} = \lambda \gamma H \alpha^*, \tag{1}$$

где  $\lambda$  - коэффициент бокового давления пород в ненарушенном массиве;  $\gamma$  - удельный вес пород;  $H$  - глубина рассматриваемого сечения ствола;  $\alpha^*$  - корректирующий множитель, введенный для приближенного учета влияния отставания возведения крепи от забоя ствола, определяемый по формуле [2]

$$\alpha^* = \max \left\{ e^{-1.3VR_1}; 1 - \frac{R_c}{2\lambda\gamma H}; 0.15 \right\} \tag{2}$$

$l$  - отставание сооружаемой крепи от забоя ствола (при способе проходки по совмещенной технологической схеме принимается равным длине заходки);  $R_c$  - прочность вмещающих ствол пород на сжатие.

Отметим, что второе значение в фигурных скобках в формуле (2) обусловлено требованием сохранности поверхности ствола до сооружения крепи. Кроме того, формулой (2) предусматривается в запас прочности конструкции  $\alpha^* \geq 0.15$ .

Решение описанной задачи получено в замкнутой форме [3], при этом усилия в сечениях крепи - изгибающие моменты  $M$  и продольные силы  $N$  - определяются по формулам:

$$M = \frac{(A + a_2\beta)(1 - c_2) \Delta_2^2 b}{12 [\beta^2 B(c_0 - 1) + \beta C + A(1 - c_2)]} \lambda \gamma H \alpha^*; \tag{3}$$

$$N = \frac{(3 + c_2)(A + a_2\beta)(1 - c_2) \Delta_2 b}{2(1 - c_2)[\beta^2 B(c_0 - 1) + \beta C + A(1 - c_2)]} \lambda \gamma H \alpha^*,$$

где

$$c_0 = (1 + l_a/R_1)^2; \quad c_2 = (R_2/R_1)^2; \quad \beta = E_1/E_0; \quad a_2 = c_0 - 1 + 2(1 - \nu_1);$$

$$A = (1 - 2\nu_1)(c_0 - 1), \quad B = (1 - 2\nu_2 + c_2) \frac{E_0(1 + \nu_2)}{E_2(1 + \nu_0)};$$

$$C = (c_0 - 1)[1 - c_2 + (1 - 2\nu_1)B] + 2(1 - \nu_1)(1 - c_2 + B), \quad b = 1 \text{ м.}$$

Используя условие прочности [2]

$$N < \Delta_2 b R_{bc} \left(1 - \frac{2M}{N\Delta_2}\right), \quad (4)$$

где  $R_{bc}$  - расчетное сопротивление бетона сжатию, после подстановки формул (3) приходим к выражению, позволяющему определять необходимую относительную длину анкеров

$$\tilde{l}_a = \frac{l_a}{R_1} = -1 + \sqrt{1 - \frac{2\beta(1 - T)(1 - \nu_1)}{\beta^2 + \beta(1 - 2\nu_1 - T) - (1 - 2\nu_1)T}} \quad (5)$$

Здесь

$$T = \frac{1 - c_2 \cdot \frac{3}{8} \frac{(3 + c_2)^2}{(2 + c_2)} \frac{\lambda \gamma H \alpha^*}{R_{bc}}}{(1 - 2\nu_2 + c_2) \frac{E_0(1 + \nu_2)}{E_2(1 + \nu_0)}} \quad (6)$$

Отметим, что определяемый формулой (6) безразмерный параметр  $T$  фактически является некоторой обобщенной характеристикой бетонной крепи и окружающего массива пород, составляющих единую деформируемую систему.

Принимая во внимание экспериментальные данные [1], согласно которым увеличение модуля деформации пород в укрепленной анкерами зоне достигается в пределах  $1 \leq \beta \leq 3.5$ , на основании формулы (5) можно сделать вывод, что в условиях, когда  $T \leq 1$ , рассматриваемая крепь может применяться без анкеров, а при  $T \geq 3.2$  установкой анкеров невозможно обеспечить необходимую несущую

способность конструкции. Таким образом, эффективное применение анкеров ограничивается условиями, когда  $1 < T < 3.2$ .

В целях практического проектирования крепи стволов из бетона в сочетании с анкерами удобно использовать номограмму для определения параметров анкеров (рис.2), правая часть которой построена с использованием формулы (5), а левая - на основе экспериментальных результатов работы [1]. Поскольку для бетона можно принять  $\nu_2 = 0.2$ , а для большинства горных пород  $\nu_0 = \nu_1 = 0.35$ , с учетом коэффициента условий работы крепи  $\gamma_m = 1.25$ , как это принято в [2], безразмерный параметр  $T$  определяется по формуле:

$$T = \frac{0.527 K (3 + c_2)^2 + 1.125 (c_2 - 1) (c_2 + 2)}{(c_2 + 0.6) (c_2 + 2)} \frac{E_2}{E_0} \quad (7)$$

где

$$K = \lambda \gamma H \alpha^* / R_{bc}$$

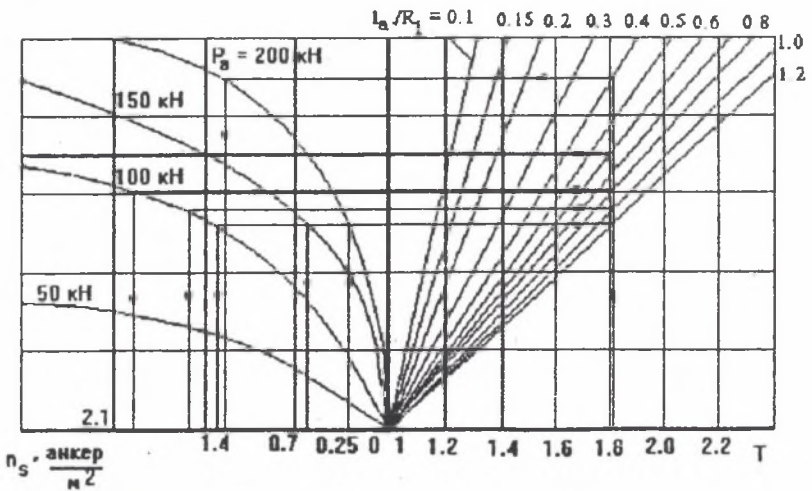


Fig. 2. Nomograph for evaluating the anchors parameters  
 Рув. 2. Номограм до określania параметrow kotwi

Рассмотрим пример использования номограммы с целью определения параметров анкеров.

Пусть вертикальный ствол диаметром в свету 8,0 м ( $R_2 = 4$  м) имеет крепь толщиной  $\Delta_2 = 0.4$  м из бетона класса В15 с характеристиками  $R_{bc} = 6.5$  МПа,  $E_2 = 23000$  МПа, которая устанавливается на расстоянии  $l = 2,5$  м от забоя. Рассматривается сечение на глубине  $H = 700$  м; вмещающие породы - аргиллиты прочностью  $R_c = 24$  МПа - имеют модуль деформации  $E_0 = 14000$  МПа и удельный вес  $\gamma = 25$  кН/м<sup>3</sup>. Коэффициент бокового давления в ненарушенном массиве  $\lambda = 0.5$ .

Порядок расчета:

- вычисляются величины

$$C_2 = (4/4.4)^2 = 0.826;$$

$$\alpha^* = \max \left\{ \exp(-1.3 \cdot 2.5/4.4); \left(1 - \frac{24}{2 \cdot 0.4 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot 700}\right); 0.15 \right\} = 0.48;$$

$$K = \frac{0.5 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot 700 \cdot 0.48}{6.5} = 0.646;$$

- определяется параметр  $T$  по формуле (7):

$$T = \frac{0.527 \cdot 0.646 \cdot (3 + 0.826)^2 + 1.125 \cdot (0.826 - 1) \cdot (0.826 + 2) \cdot 23000}{(0.826 + 0.6) \cdot (0.826 + 2) \cdot 14000} = 1.81;$$

- по номограмме (рис.2) находятся параметры вариантов равнопрочных конструкций, которые приведены в таблице!. На основании технико-экономического сравнения этих вариантов может быть выбрана оптимальная конструкция.

В заключение отметим, что описанная методика определения параметров равнопрочных конструкций крепи стволов из бетона в сочетании с анкерами включена в нормативно-технический документ [4].

Table 1  
Варианты равнопрочных конструкций

NN	$l_{a,}$ м	$P_a$ кН	$n_s \cdot \frac{\text{анкер}}{\text{м}^2}$
1	5.28	200	0.25
		150	0.69
		100	1.27
2	4.4	200	0.31
		150	0.8
		100	1.40
3	3.52	200	0.21
		150	0.98
		100	1.83
4	3.08	200	0.46
		150	1.10
		100	2.10
5	2.64	200	0.58
		150	1.27
		100	3.00

ЛИТЕРАТУРА

[1] Тимофеев О.В., Трушко В.Л. Эффективность упрочнения штангами монолитной структуры на до- и запредельной стадиях деформирования //Взаимодействие крепи и пород в сложных условиях. Ленинград, 101-106, 1984.

[2] Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи, с. 272 /ВНИМИ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР.Москва: Стройиздат 1980.

[3] Будычев Н.С., Фотиева Н.Н., Стрельцов Е.В. Проектирование и расчет крепи капитальных выработок. С.288. Москва: Недра. 1986.

[4] Инструкция по расчету и применению облегченных видов крепей с анкерами в вертикальных стволах. С.75. РД 12.18.089-90/ВНИИОМШС Минуглепрома СССР. Харьков 1990.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Mirosław CHUDEK

Wpłynęło do Redakcji w maju 1994r.