

УДК 622.281.74: 622 268.12

В. В. Ялоза, Е. В. Кителева

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АНКЕРОВ ПРИ КРЕПЛЕНИИ СОПРЯЖЕНИЙ КАПИТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В современном шахтном строительстве для крепления сопряжений капитальных горных выработок все чаще применяются железобетонные анкеры. Использование их вместо арочной металлической крепи обеспечивает существенное снижение стоимости крепления участка сопряжения и позволяет значительно уменьшить трудоемкость возведения.

Научным и практическим опытом установлено низкая эффективность всех арочных и рамных крепей, т.е. эти виды крепей не несут предварительной нагрузки, не упрочняют свод выработки, трудоемки в установке, многозатратны и имеют ограниченную область применения.

Основной задачей расчета конструкции крепи сопряжения является обеспечение надежности всех ее узлов и механизма в целом на весь срок службы при минимальных затратах труда и материалов.

Применительно к этому авторами рассмотрено сопряжение с примыканием выработок под углом 90° с заданными типовыми размерами [1].

Расчет нагрузки на крепь сопряжения произведен для следующих условий:

- коэффициент структурно-текстурного ослабления пород $K_c=0,5$;

- глубина заложения сопряжений $H=600$;

- коэффициент крепости пород $f=6$;

- работы ведутся вне зоны влияния очистных работ;

- отсутствует влияние близлежащих выработок;

- породы – песчаники и аргиллиты необводненные, среднетрещиноватые .

Расчет крепи сопряжения производится в следующем по-

рядке.

1. Определяется расчетная глубина размещения сопряжения [2]

$$H_p = kH,$$

где H – проектная глубина размещения сопряжения, $H=600$ м;

k – коэффициент, учитывающий отличие напряженного состояния массива горных пород по сравнению с напряженным состоянием, вызванным собственным весом толщи пород до поверхности, $k=1$.

$$H_p = 1 \cdot 600 = 600 \text{ м.}$$

2. Определение расчетной прочности массива вокруг сопряжения

$$R_c = k_c \sigma_{cjk} k_{al} k_{dl},$$

где k_c – коэффициент, учитывающий снижение прочности пород массива по сравнению с прочностью в образце из-за трещин, контактов слоев, зеркал, борозд скольжения и других макродефектов строения массива $k_c=0,5$;

σ_{cjk} – среднее значение сопротивления пород в образце сжатию, $\sigma_{cjk}=60$ МПа;

k_{al} – коэффициент, учитывающий снижение прочности пород в результате обводнения, $k_{al}=1$;

k_{dl} – коэффициент длительной прочности, т.е. коэффициент, учитывающий снижение прочности пород при длительном воздействии на них нагрузки, $k_{dl}=1$;

$$R_c = 0,5 \cdot 60 \cdot 1 \cdot 1 = 30 \text{ МПа.}$$

3. Определение устойчивости пород выработки

$$U = k_\alpha k_\theta k_s k_b k_t U_T,$$

где k_α – коэффициент влияния угла залегания пород и направления проведения выработки относительно простирания пород или основных плоскостей

трещиноватости, $k_\alpha=0,7$;

k_θ – коэффициент направления смещения пород, со стороны кровли или почвы $k_\theta=1$, при определении боковых смещений пород $0,55$;

k_s – коэффициент влияния размера выработки, определяемый по формуле:

$$k_s = 0,2(b-1) = 0,928,$$

где b – ширина выработки в проходке, $b_{np}=5,64$ м;

k_b – коэффициент воздействия других выработок, $k_b=1,4$;

k_t – коэффициент, учитывающий срок службы выработки, $k_t=1$;

U_T – смещение пород, принятное за типовое, $U_T=280$ мм;

$$U_b = 0,7 \cdot 0,55 \cdot 0,928 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 280 =$$

$$= 140,05 \text{ мм};$$

$$U_{k(n)} = 0,7 \cdot 1 \cdot 0,928 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 280 =$$

$$= 254,64 \text{ мм.}$$

Породы кровли и почвы рассмотренной выработки относятся к III категории устойчивости (неустойчивые), а породы боков – ко II категории устойчивости (среднеустойчивые).

4. Определение расчетной вертикальной нагрузки на анкерную крепь сопряжения [3]

$$P_{B.a.} =$$

$$= \frac{k_n k_H m_b \left[a + h \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{90 - \phi_k}{2} \right) \right]}{k_c f}$$

где k_n – коэффициент перегрузки, $k_n=1,25$;

k_H – коэффициент, учитывающий назначение выработки, $k_H=1,1$;

m_b – коэффициент, учитывающий влияние способа проведения выработки, $m_b=1$;

a – полупролет выработки в проходке, рассчитывается из найденного эквивалентного пролета l :

$$l = (a_1 + a_2 + C_1 + C_2)(P_1 \lambda + P_2),$$

где a_1, a_2 – полупролет основной и примыкающей выработки в проходке, $a_1=a_2=2,02$ м [1];

C_1, C_2 – величина бокового отжима породы,

$$C_1 = \left(\frac{k_1 \gamma H}{100 \sigma_{сж.б.} k_b} - 1 \right) h_1 \times \times \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\rho}{2} \right) = -0,03178;$$

$$C_2 = \left(\frac{k_2 \gamma H}{100 \sigma_{сж.б.} k_b} - 1 \right) h_2 \times \times \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\rho}{2} \right) = -0,03194;$$

λ – безразмерный параметр

$$\lambda = \frac{(k_1 + k_2) \gamma H (\cos^2 \alpha + \xi \sin^2 \alpha)}{200 \sigma_{сж.б.} k_b k_k} \times \times \sqrt{\frac{X}{\sin \theta}} = 0,010395,$$

P_1, P_2 – постоянные, зависящие от угла примыкания соединяемых выработок $P_1=1,75, P_2=1,4;$

$$l=(2,02+2,02-0,03178-0,03194) \times \times (1,75 \cdot 0,010395 + 1,4) = 5,64 \text{ м.}$$

Тогда полупролет данного вида сопряжения определится по формуле:

$$a=a_1+a_2+C_1+C_2=3,98 \text{ м, где } h \text{ – высота выработки в проходке, } h=3,67 \text{ м [1];}$$

φ_k – кажущийся угол внутреннего трения пород равный $\operatorname{arctg}(\rho)=\operatorname{arctg}6=80^\circ 32'$.

Отсюда

$$P_{в.а.} = 42,22 \text{ кН.}$$

5. Определение расчетной горизонтальной нагрузки на анкерную крепь сопряжения

$$P_{г.а.} = k_n k_h m_b P_e,$$

где P_e – горизонтальная (боко-

вая) нагрузка на анкерную крепь сопряжения

$$P_e = (0,3 \div 0,5) P_b = 0,4 P_b,$$

где P_b – вертикальная нагрузка по методу проф. П.М. Цимбаревича;

$$P_b = b_I \gamma;$$

b_I – высота возможного вывала пород;

$$b_I = \frac{a_I}{k_c f} = 1,32 \text{ м,}$$

где a_I – полупролет возможного обрушения пород (м):

$$a_I = a + h \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{90 - \varphi_k}{2} \right) = 4,28 ;$$

$$P_b = 1,32 \cdot 25,6 \cdot 10^3 = 36,55 ,$$

$$P_e = 0,4 \cdot 36,55 = 14,62 \text{ кН,}$$

$$P_{e.a.} = 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 14,62 = 17,69 \text{ кН.}$$

6. Определение прочности закрепления стержня в бетоне:

Таблица 1

Затраты по элементу «Материалы»

Материалы	Ед. изм.	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
1. Использование металлической рамной крепи:				
- КМП-АЗУ-27-16	рама	2	66,7	133,4
- железобетонная затяжка	м ³	0,482	167,8	80,88
- камерная рама	рама	1	63,2	63,2
Итого C_M^M				277,48
2. Использование анкерной крепи				
- анкеры длиной 2,1 м	ком-т	5,76	1,9	10,44
- бетон для железобетонных. анкеров	м ³	0,0052	60	0,312
- металлическая решетчатая затяжка	шт	5,04	14,3	72,07
Итого C_M^A				82,82

Таблица 2

Затраты по элементу «Заработка плата»

Наименование работ	Объем работ		Обоснование	Расценка, руб	Стоимость, руб
	Ед. изм.	Коли-чество			
1. Использование металлической рамной крепи:					
- установка арочной крепи с перекрытием боков и кровли железобетонной затяжкой	рама	2	E36-1-67	23,42	46,84
- установка камерной рамы (ориентировочно)	рама	1	E36-1-69	10,7	10,7
Итого C_m^M					57,54
2. Использование анкерной крепи					
- установка анкерной крепи	ком-плект	5,76	E36-1-68	1,4	8,1
- укрепление металлической решетчатой затяжкой	шт	5,04	E36-1-64	1,16	5,85
Итого C_m^A					13,95

$$P_C = \pi d_C \tau_C l_3 = 368 \text{ кН.}$$

7. Определение прочности закрепления стержня из условия сдвига относительно стенок скважины:

$$P_{C\partial} = \pi d_C \tau_{C\partial} l_3 = 247 \text{ кН.}$$

8. Определение прочности стержня на разрыв:

$$P_{uH} = R_s S_{uH} = 138,7 \text{ кН.}$$

9. Определение длины анкера:

$$l_a = l_b + l_o + l_3 = 2,02 \text{ м.}$$

10. Определение расстояния между анкерами по несущей способности:

$$a_o = \sqrt{\frac{P_h}{\gamma_k l_o k_3}} = 1,71 \text{ м.}$$

11. Расстояние между анкерами по условию устойчивости между ними определяется из выражения:

$$a_1 = \frac{l_a}{3} \sqrt{\frac{C}{P_{b,a}}} = 1,39 \text{ м.}$$

Расстояние между анкерами в продольном и поперечном направлениях принимается равным 1,39 м.

Количество анкеров в кровле выработки определяется, исходя из ширины выработки в проходке и расстояния между анкерами

$$N = \frac{b_{np}}{a_1} = \frac{l_{ekb}}{a_1} = \frac{5,64}{1,39} \approx 4,06$$

(принято 4 анкера в кровле).

Для технико-экономического сравнения параметров анкерной и металлической рамной крепи рассматривается

сопряжение вида “прямоугольное примыкание” с углом $\theta=90^\circ$, расположенное на глубине $H=600$ м. Коэффициент крепости вмещающих горных пород по шкале М.М. Протодьяконова принят равным 6. Показатели расчета по элементу «Материалы» и «Заработка платы» см. в табл. 1, 2.

Затраты на крепление при использовании металлической рамной крепи составляет

$$C_K^M = C_{3n}^M + C_M^M = 335,02 \text{ руб.}$$

Затраты на крепление железобетонной анкерной крепью составят

$$C_K^A = C_{3n}^A + C_M^A = 96,77 \text{ руб.}$$

Экономическую эффективность применения анкерной крепи по сравнению с металлической рамной можно определить из выражения:

$$\mathcal{E}^A = \frac{C_K^M + C_K^A}{C_K^M} \cdot 100\% \approx 71\%.$$

Таким образом, использование анкерной крепи позволяет снизить на 70 % стоимость крепления сопряжений капитальных горных выработок (расчеты проведены в ценах 1984 г.).

В результате расчета анкерной крепи сопряжений при рассчитанных параметрах высоты возможного вывала пород и заданного коэффициента структурно – текстурного ослабления построены графики зависимости при различных пределах прочности пород (рис. 1). Результаты расчетов в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчетов анкерной крепи сопряжений при рассчитанных параметрах высоты возможного вывала пород и заданного коэффициента структурно-текстурного ослабления

Предел прочности пород на сжатие, $\sigma_{c,s}$, МПа	Коэффициент K_c структурно – текстурного ослабления	Высота возможного вывала пород кровли, $b = l_o$, м
60	0,5	1,32
	0,6	1,106
	0,7	0,95
	0,8	0,83
	0,9	0,74
70	0,5	1,21
	0,6	1,01
	0,7	0,87
	0,8	0,76
	0,9	0,67
80	0,5	1,05
	0,6	0,88
	0,7	0,75
	0,8	0,66
	0,9	0,59
90	0,5	0,93
	0,6	0,77
	0,7	0,67
	0,8	0,58
	0,9	0,51
100	0,5	0,83
	0,6	0,69
	0,7	0,59
	0,8	0,52
	0,9	0,46
110	0,5	0,75
	0,6	0,62
	0,7	0,53
	0,8	0,47
	0,9	0,41

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альбом «Конструкция и технология сооружения узлов сопряжений горных выработок с применением арочной крепи из СВП и камерной рамы из условий строящихся и реконструируемых шахт Кузбасса» / КузНИИшахтострой. - Кемерово , 1989. – 44 с.
- СНиП II-94-80. Подземные горные выработки. Нормы проектирования. - М: Стройиздат, 1982. – 31 с.
- Штумпф Г.Г. Выбор и расчет крепей и обделок подземных сооружений с применением ЭВМ: Учебное пособие / Г.Г. Штумпф, В.А. Шаламанов / Кузбасс. гос. техн. ун-т , Кемерово, 1998. – 144 с

□ Авторы статьи:

Ялоза

Виталий .Викторович
– ст. препод. каф. строительства
подземных сооружений и шахт

Кителева

Елена .Викторовна
– студентка КузГТУ