

# Метод расчета параметров анкерной крепи глубокого заложения для поддержания горных выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях угольных шахт

**ПОЗОЛОТИН Александр Сергеевич**

Директор по перспективному развитию ООО «РАНК 2»,  
канд. техн. наук

**РОЗЕНБАУМ Марк Абрамович**

Заведующий лабораторией геомеханики ОАО «ВНИМИ»,  
доктор техн. наук, профессор

**РЕНЕВ Алексей Агафангелович**

Директор горного института КузГТУ,  
доктор техн. наук, профессор

**РАЗУМОВ Евгений Анатольевич**

Технический директор ООО «РАНК 2»

**ЧЕРНЯХОВСКИЙ Сергей Михайлович**

Старший научный сотрудник НМСУ «Горный»

Статья посвящена методу расчета параметров анкерной крепи глубокого заложения для поддержания горных выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях угольных шахт.

**Ключевые слова:** подземные горные выработки, метод расчета, анкерная крепь, анкер глубокого заложения.

**Контактная информация** — e-mail: rank2009@yandex.ru

За последние 10 лет произошли существенные изменения в технологии ведения горных работ на угольных шахтах, применяемых способах подготовки и охраны горных выработок, конструкциях анкерной крепи, применении анкеров глубокого заложения, расширении области применения анкерной крепи на ударо — и выбросоопасных пластах, подработанных и надработанных участках шахтного поля, нижних слоях мощных пластов, широких, свыше 6 м, выработках и сопряжениях, в том числе в монтажных и демонтажных камерах, коротких очистных забоях.

Наиболее существенные изменения в технологиях анкерного крепления связаны с внедрением канатных анкеров АК01 производства ООО «РАНК 2» и успешным решением задач поддержания и сохранения подземных горных выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях. Однако свободное использование новых технологий было затруднено отсутствием нормативных документов по их применению. В действующей инструкции [1] отсутствует само понятие анкеров глубокого заложения. Поэтому остро встал вопрос создания нормативных и методических документов для выбора конструкций анкерной крепи, расчета ее параметров и контроля работоспособности.

При разработке метода расчета параметров анкерной крепи были проанализированы различные теории горного давления и за основу взята «гипотеза свода» профессора Протодьяконова. Одним из основных недостатков этой гипотезы является то, что она не учитывает глубины ведения горных работ.

Разработанный метод позволяет рассчитывать параметры анкерной крепи выработок, проводимых на различной глубине, и

достаточно прост для ведения расчетов специалистами шахт. Компания ООО «РАНК 2» провела промышленные испытания данного метода в условиях шахт Кузбасса. В процессе испытаний было закреплено более 35 горных выработок общей протяженностью более 37 км, в различных горно-геологических и горнотехнических условиях, в том числе в слабых ( $R_{сж} < 30$  МПа) породах, при этом не отмечено ни единого случая вывалов и обрушений пород или деформирования крепи.

Учитывая накопленный опыт, ООО «РАНК 2» совместно с ВНИМИ приступили к разработке новой Инструкции по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России, которая обеспечит существенное расширение области применения данной крепи и легитимность использования анкеров глубокого заложения [2].

Глубина заложения данной крепи рассчитывается, исходя из параметров свода естественного равновесия. В зависимости от отношения стрелы подъема свода  $h_{св}$  (высота свода, считая от кровли горной выработки) к ее фактической ширине  $B$  свода естественного равновесия можно разделить на четыре группы [3]:

- 1) своды плоские, стрела подъема меньше или равна половине пролета:  $h_{св} / B \leq 0,5$ ;
- 2) своды низкие, стрела подъема больше половины пролета или равна пролету:  $0,5 < h_{св} / B \leq 1,0$ ;
- 3) своды средние, стрела подъема больше пролета, но меньше или равна полуторной ширине пролета:  $1,0 < h_{св} / B \leq 1,5$ ;
- 4) своды высокие, стрела подъема больше полуторной ширины пролета:  $h_{св} / B > 1,5$ .

Механические свойства породы характеризуются ее углом внутреннего трения. Величина угла прямо пропорциональна прочности породы и обратно пропорциональна действующему в ней напряжению — с глубиной напряжение возрастает, и одновременно уменьшается угол внутреннего трения. Для зависимости между углом внутреннего трения и величиной стрелы подъема свода характерны два экстремальных (крайних) положения:

— если угол внутреннего трения приближается к  $90^\circ$ , величина стрелы подъема свода приближается к нулю;

— если угол внутреннего трения приближается к  $0^\circ$ , величина стрелы подъема свода приближается к бесконечности.

Следовательно, чем породы менее прочные и чем меньше угол внутреннего трения, тем большую стрелу подъема имеет свод естественного равновесия, и, наоборот, чем прочнее породы, тем стрела подъема свода меньше.

Высота свода естественного равновесия пород над горной выработкой ( $h_{св}$ ) (рис. 1) определяется по формуле:  $h_{св} = k_{св} B_p$ , где  $k_{св}$  — коэффициент свода, учитывающий прочность пород кровли на одноосное сжатие и условия расположения выработки (в зоне и вне зоны влияния очистных работ);  $B_p$  — расчетная ширина горной выработки с учетом возможного разрушения боков (отжима угля)

В свою очередь  $B_p = B + 2 v_p$ , где  $v_p$  — величина возможного разрушения боков горной выработки, определяемая по формуле:  $v_p = htg\left(\frac{90^\circ - \phi}{2}\right)$ , где  $h$  — высота горной выработки, м;

$\varphi$  — угол внутреннего трения угля в боках горной выработки, градус.

Ожидаемое давление пород свода естественного равновесия на один погонный метр горной выработки со стороны кровли, закрепленной анкерами глубокого заложения, ( $P_{св}$ , кН/м), определяется по формуле:  $P_{св} = \frac{2}{3} B_p h_{св} \gamma$ , где  $\gamma$  — удельный вес пород кровли, т/м<sup>3</sup>.

Ожидаемое удельное давление пород свода естественного равновесия на анкера глубокого заложения ( $P_{в.к.у}$ , кН/м<sup>2</sup>) за вычетом доли возведенного сопротивления анкеров первого

уровня определяется по формуле:  $P_{в.к.у} = \frac{2B_p}{3B} h_{св} \gamma - k_{р.в.н} \frac{n_{р.н} N_a}{C_{кн} B}$ ,

где:  $n_{р.н}$  — количество кровельных анкеров первого уровня в каждом ряду;  $N_a$  — несущая способность анкера, кН;  $C_{кн}$  — расстояние между рядами анкеров нижнего уровня, м;  $k_{р.в.н}$  — коэффициент разгрузки анкеров глубокого заложения за счет анкеров первого уровня, определяется по выражению:  $k_{р.в.н} = \frac{l_{акт}}{h_{св}}$ ,

где:  $l_{акт}$  — активная длина анкера первого уровня без выступающей части, м.

Длина анкера глубокого заложения определяется по формуле:  $l_{к.а} = h_{св} + l_3 + l_{в'}$ , где:  $l_3$  — длина закрепления анкера глубокого заложения выше контура свода естественного равновесия, принимается 0,8—1,0 м;  $l_{в'}$  — выступающая внутрь горной выработки часть анкера, принимаемая 0,15-0,2 м.

Плотность установки анкеров глубокого заложения ( $\Pi_{в.к'}$ , анк./м<sup>2</sup>) определяется по формуле:  $\Pi_{в.к} = \frac{P_{в.к.у}}{N_{к.а}}$ , где:  $N_{к.а}$  — несущая способность анкера глубокого заложения, кН.

**Пример расчета параметров крепи усиления конвейерного штрека впереди очистного забоя**

Расчетное сопротивление пород кровли сжатию при однородной кровле (I тип кровли),  $R_c$ , определяется по формуле:

$$R_c = \frac{(R_{c1} m_1 + R_{c2} m_2 + \dots + R_{cn} m_n) k_c}{m_1 + m_2 + \dots + m_n},$$

где:  $R_{c1}$  и  $R_{cn}$  — сопротивление сжатию слоев пород, МПа;  $K_c$  — коэффициент структурного ослабления пород кровли:

$$R_c = \frac{(50 \cdot 2,85 + 70 \cdot 2,35) \cdot 0,9}{2,85 + 2,35} = 53,1 \text{ МПа.}$$

В пластовых горных выработках, проводимых в массиве и погашаемых лавой, величина расчетных смещений кровли  $U_n$  определяется по формуле:

$$U_n = U_m + U_l k_{ш} k_b k_{кр} k_a,$$

где:  $U_l$  — расчетные смещения кровли в период влияния опорного давления на протяжении 0,1Н, м от погашающей лавы, определяемые в зависимости от Н и  $R_c$ ;  $K_{ш}$  — коэффициент, учитывающий отличие расчетной ширины выработок и сопряжений от  $B = 5$  м ( $K_{ш} = 0,25 \cdot (B - 1) = 0,25 \cdot (5,2 - 1) = 1,05$ );  $k_b$  — коэффициент, учитывающий влияние других смежных горных выработок, принимаемый равным 1;  $k_a$  — коэффициент, учитывающий расположение горных выработок, принимаемый равным 1;  $k_{кр}$  —

**Исходные данные для расчета**

Глубина расположения штрека Н, м	515
Ширина штрека в проходке В, м	5,2
Высота штрека в проходке h, м	3,5
Мощность пласта m, м	0,85-1,0
Предел прочности угля $\sigma_{сж.п.}$ , МПа	20-30
Предел прочности пород непосредственной кровли $\sigma_{сж.п.}$ , МПа	50-60
Мощность пород непосредственной кровли $m_n$ , м	1,9-4,5
Несущая способность анкера первого уровня $N_a$ , кН	126
Несущая способность анкера АК01 $N_{ак}$ , кН	210

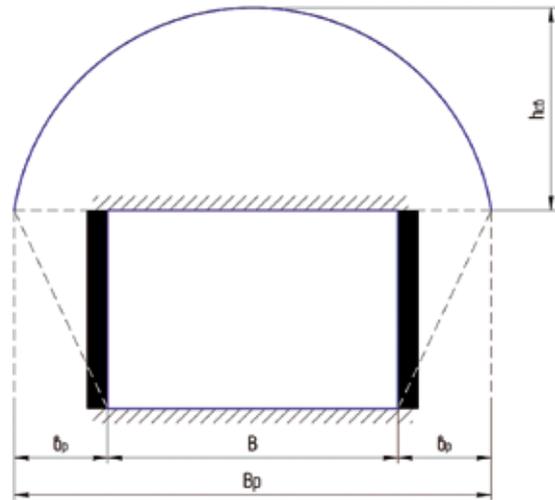


Рис. 1. Расчетная схема для определения высоты свода естественного равновесия

коэффициент, учитывающий обрушаемость основной кровли, принимаемый равным 1;

$$U_m = U_t k_\alpha k_{ш} k_b k_a,$$

где:  $U_t$  — типовые смещения кровли, определяемые в зависимости от Н и  $R_c$ ;  $k_\alpha$  — коэффициент, учитывающий степень связывания и упрочнения пород, принимаемый равным 0,85;  $U_m = 27$  мм;

$$U_n = 27 + 85 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 1 = 116,25 \text{ мм.}$$

Горное давления — II категории интенсивности.

В условиях II категории интенсивности горного давления при I типе кровли анкерную крепь следует устанавливать в два уровня, параметры крепи первого уровня принимаются: длина анкера не менее 2,4 м, плотность установки анкеров не менее одного анкера на м<sup>2</sup>.

Расчетное удельное давление пород кровли на анкерную крепь первого уровня ( $P_{н.а}$ , кН/м<sup>2</sup>), создаваемое весом пород непосредственной кровли, определяется по формуле:

$$P_{н.а} = l_{акт} k_n \gamma,$$

где:  $l_{акт}$  — активная длина анкера первого уровня (без выступающей части), м, определяемая по формуле:

$$l_{акт} = l_a - l_{в'}$$

где:  $l_a$  — длина анкера, м;  $l_{в'}$  — выступающая внутрь горной выработки часть анкера, принимаемая не более 0,2 м,  $l_{акт} = 2,4 - 0,1 = 2,3$  м,  $k_n$  — коэффициент пригрузки от вышележащих пород, равный 1,2—1,5 м;  $\gamma$  — объемный вес пород кровли, кН/м<sup>3</sup>,  $P_{н.а} = 2,3 \cdot 1,5 \cdot 26,8 = 92,5$  кН/м<sup>2</sup>

Необходимая плотность установки анкеров первого уровня ( $\Pi_{н.а}$ ) определяется по формуле:

$$\Pi_{н.а} = \frac{P_{н.а}}{N_a},$$

где:  $N_a$  — несущая способность анкера, кН;

$$\Pi_{н.а} = \frac{92,5}{126} = 0,73.$$

Количество анкеров первого уровня принимаем шесть штук в ряд.

Расстояние между рядами анкеров первого уровня ( $C_{кн}$ ) определяется по формуле:

$$C_{кн} = \frac{n_{рн} N_a}{P_{на} B};$$

$$C_{кн} = 6 \cdot 126 / 92,5 \cdot 5,2 = 1,6 \text{ м.}$$

Расстояние между рядами анкеров первого уровня ( $C_{кн}$ ) сравнивается с допустимым по условию устойчивости контура кровли ( $C_{кнmin}$ ), которое вычисляется по формуле:

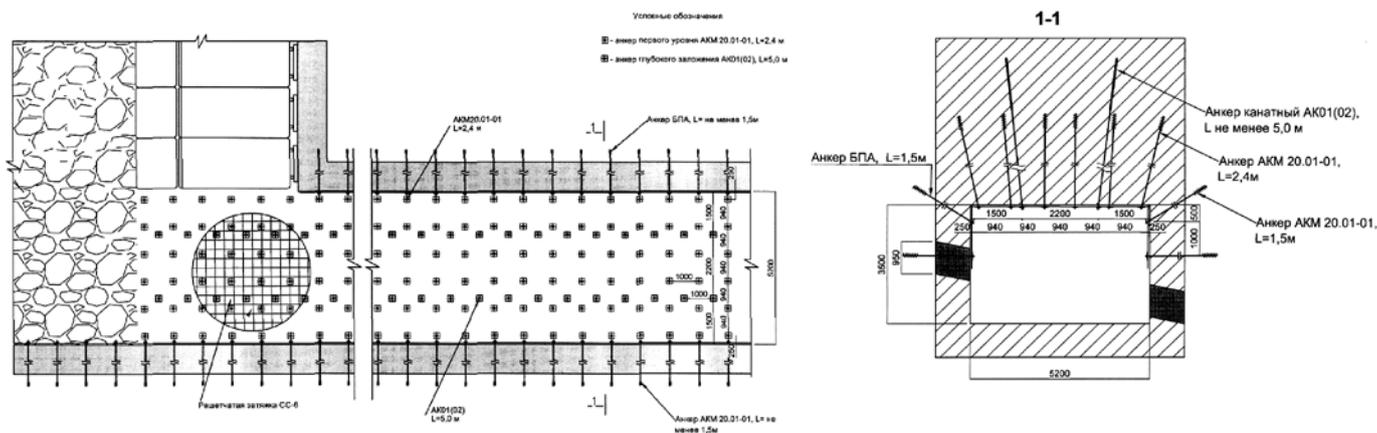


Рис. 2. Схема крепи конвейерного штрека впереди очистного забоя с использованием анкеров глубокого заложения

$$C_{кн\ min} = \frac{n_{рн}}{\Pi_{\min} B};$$

$$C_{кн\ min} = 6/1 \cdot 5,2 = 1,15 \text{ м.}$$

Принимаем расстояние между рядами  $C_{кн} = 1 \text{ м.}$

Возведенное сопротивление анкерной крепи первого уровня ( $P_{вн}$ ) определяется по формуле:

$$P_{вн} = \frac{n_{рн} N_a}{C_{кн} B};$$

$$P_{вн} = 6 \cdot 126/1 \cdot 5,2 = 145 \text{ кН/м}^2$$

Для расчета параметров анкеров глубокого заложения необходимо определить высоту свода естественного равновесия:

$$h_{св} = k_{св} B,$$

где:  $k_{св}$  — коэффициент свода, равный 0,65;  $h_{св} = 0,65 \cdot 5,2 = 3,38 \text{ м.}$

Ожидаемое давление пород свода естественного равновесия на один погонный метр горной выработки со стороны кровли, закрепленной анкерами глубокого заложения, ( $P_{св}$ ), определяется по формуле:

$$P_{св} = \frac{2}{3} \cdot B_p \cdot h_{св} \cdot \gamma,$$

$$P_{св} = \frac{2}{3} \cdot 5,2 \cdot 3,38 \cdot 26,8 = 314, \text{ кН/м}$$

Расчетное удельное давление пород свода естественного равновесия на анкеры глубокого заложения ( $P_{св.у}$ , кН/м<sup>2</sup>) определяется по формуле:

$$P_{св.у} = \frac{P_{св}}{B}, P_{св.у} = \frac{314}{5,2} = 60,4 \text{ кН/м}^2.$$

Длина анкера глубокого заложения (канатного анкера) определяется по формуле:

$$l_{к.а} = h_{св} + l_3 + l_b,$$

где:  $l_3$  — длина закрепления анкера глубокого заложения выше контура свода естественного равновесия, принимается 0,8—1,0 м;  $l_b$  — выступающая внутрь горной выработки часть анкера, принимаемая 0,15-0,2 м.

$$l_{к.а} = 3,38 + 1 + 0,2 = 4,58 \text{ м, принимаем } l_{к.а} = 5 \text{ м.}$$

Количество анкеров глубокого заложения (АК01) в ряду принимается в зависимости от ширины горной выработки. Принимаем два анкера в ряд (рис. 2).

Расстояние между анкерами глубокого заложения в рядах определяется по формуле:

$$C_{рвк} = \frac{B - 3}{n_{рвк} - 1},$$

где: 3 — суммарное расстояние от крайних анкеров глубокого заложения до боков выработки, м.

$$C_{рвк} = (5,2 - 3) / (2 - 1) = 2,2 \text{ м.}$$

Плотность установки анкеров глубокого заложения ( $\Pi_{в.к}$ ) определяется по формуле:

$$\Pi_{в.к} = \frac{P_{св}}{N_{к.а}},$$

$$\Pi_{в.к} = \frac{314}{210} = 1,49 \text{ анк/м}^2,$$

где:  $N_{к.а}$  — несущая способность анкера глубокого заложения, кН.

Возведенное удельное сопротивление анкеров глубокого заложения ( $P_{в.в.к}$ , кН/м<sup>2</sup>) определяется по формуле:

$$P_{в.в.к} = \frac{n_{п.в.к} N_{к.а}}{C_{в.к} B},$$

$$P_{в.в.к} = \frac{2 \cdot 210}{1 \cdot 5,2} = 80,8 \text{ кН/м}^2$$

Выполняется проверка надежности установленной анкерной крепи по условию: для предотвращения обрушения скрепленных анкерами первого уровня пород, их удельное давление ( $P_{о.н}$ , кН/м<sup>2</sup>) должно быть меньше возведенного удельного сопротивления канатных анкеров ( $P_{в.в.к}$ ).

$$P_{о.н} = l_{акт} \gamma, P_{о.н} = 2,3 \cdot 26,8 = 61,4 \text{ кН/м}^2.$$

где:  $l_{акт}$  — активная длина анкеров (первого уровня), м.

$$80,8 \text{ кН/м}^2 > 61,4 \text{ кН/м}^2$$

Условие надежности установленной анкерной крепи выполняется.

\* \* \*

Предложенный метод позволяет выполнять расчеты анкерной крепи по двухуровневой схеме без использования стоечной крепи для:

- выработок и сопряжений шириной до 12 м;
- предварительно пройденных и формируемых демонтажных камер;
- усиления крепи штреков с целью их повторного использования и бесцеликовой отработки запасов угля;
- усиления крепи штреков с целью работы очистного забоя без применения механизированных крепей сопряжения;
- усиления крепи выработок с целью их сохранения для газоправления, дренажа, обеспечения запасных выходов;
- усиления крепи штреков в зоне опережающего горного давления;
- обеспечения устойчивости приконтурного массива пород горных выработок на малых глубинах, в неустойчивых породах, в зонах геологических нарушений и т.д.

Список литературы

1. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России. СПб.: ВНИМИ, 2000. — 70 с.
2. Ильина Е. С. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Кузбасса: шаг вперед в крепи горных выработок / Е. С. Ильина, А. С. Позолотин, Е. А. Разумов // Уголь. — 2011. — №11. — С. 18-19.
3. Квалил Р. Новые взгляды в теории горного давления и горных ударов (пер. с чешского). — М.: Углетиздат, 1959. — С. 107.