

Расчет параметров анкерного крепления при проведении горных выработок в условиях угольных шахт

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-4-15-19>

Статья посвящена методу расчета параметров анкерного крепления горных выработок для различных горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации угольных шахт. Рекомендованы условия использования одно-, двухуровневой, комбинированной схемы анкерного крепления.

Ключевые слова: подземные горные выработки, метод расчета, анкерное крепление, одноуровневая, двухуровневая, комбинированная схемы.

Для цитирования: Расчет параметров анкерного крепления при проведении горных выработок в условиях угольных шахт / С.Б. Алиев, В.Ф. Дёмин, А.Н. Томилов и др. // Уголь. 2021. № 4. С. 15-19. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-15-19.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы развития угольной промышленности наблюдается значительный прогресс в технологии проведения подземных выработок на угольных шахтах, в разнообразии конструкций анкерных крепей, в технологии анкерного крепления. Все больше начинают использовать технологии анкерного крепления в сложных, с точки зрения производственного цикла, выработках, таких как широкие горные выработки, монтажные, демонтажные камеры, сопряжения, очистные забои до 20 м, а также удароопасные и выбросоопасные, под- и надрабатанные участки, нижние слои мощных угольных пластов [1, 2, 3].

Одной из проблем для более широкого применения технологии анкерного крепления на угольных шахтах является несовершенство официальных документов, используемых для определения применения анкерных крепей, а также, отсутствие методик расчета технических параметров и экономической эффективности их внедрения, сомнения владельцев угольных шахт в технологии угледобычи с использованием анкерного крепления по фактору безопасности технологического процесса [4, 5, 6].

АЛИЕВ С.Б.

Доктор техн. наук, профессор,
академик НАН РК, старший
научный сотрудник ИПКОН РАН,
111020, г. Москва, Россия,
e-mail: alsamat@yandex.ru

ДЁМИН В.Ф.

Доктор техн. наук, профессор кафедры
«Разработка месторождений
полезных ископаемых» КарТУ,
100027, г. Караганда, Республика Казахстан,
e-mail: vladfdemin@mail.ru

ТОМИЛОВ А.Н.

Старший преподаватель КарТУ,
100027, г. Караганда, Республика Казахстан,
e-mail: tom44487@mail.ru

МИЛЕТЕНКО Н.А.

Канд. техн. наук,
старший научный сотрудник ИПКОН РАН,
111020, г. Москва, Россия,
e-mail: nmilet@mail.ru

МЕТОД ВЫБОРА ВИДА И РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО, ДВУХУРОВНЕВОГО, КОМБИНИРОВАННОГО АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ

Предлагаемый метод выбора технологии анкерного крепления, расчета анкерных крепей в сочетании с металлоарочной крепью, а также одно-, двухуровневых анкерных крепей для различных горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации горных выработок, основан на известной «гипотезе свода» М.М. Протодряконова, а в качестве критерия интенсивности горного давления используются расчетные смещения слоев пород боков и кровли подземных выработок [7, 8].

Условия выбора технологии анкерного крепления

Сопrotивление пород кровли на сжатие ($R_{ск}$), МПа	Расчетная мощность пород кровли, м	Смещение слоев пород кровли (U_m), мм	Глубина заложения выработки (H), м	Технология анкерного крепления
≥ 35	$0,5 \cdot B_c$	≤ 150	–	Одноуровневое
< 35	$0,5 \cdot B_c$	≤ 150	≤ 300	Одноуровневое
< 35	$0,5 \cdot B_c$	–	–	Комбинированное
≥ 35	$0,5 \cdot B_c$	–	–	Двухуровневое

Таблица 2

Горнотехнологическая характеристика горной выработки (см. рисунок)

Наименование выработки	Длина (L), м	Ширина (B_c), м	Высота (h), м	Площадь сечения (S), м ²	Глубина заложения (H), м
Сбойка	75	5,4	3,55	14,5	660

Параметры анкерного крепления с помощью данного подхода могут быть рассчитаны для горных выработок, расположенных на различных глубинах и для различных условий их разработки. Использование данного метода технологическими службами шахт при ведении расчетов не вызовет затруднений.

Порядок расчета параметров анкерной крепи для конкретных условий эксплуатации горных выработок следующий [7, с. 69]:

- определение расчетного сопротивления на сжатие слоев пород кровли и боков горной выработки;
- определение расчетного смещения слоев пород кровли, боков горной выработки;
- выбор одно-, двухуровневой, комбинированной схемы крепления горных выработок в зависимости от типа строения пород кровли и прочности вмещающих пород;
- расчет параметров анкерного крепления;
- формирование технологической схемы крепления горной выработки.

Порядок определения расчетного сопротивления пород кровли и боков выработки на сжатие следующий:

- определяется расчетная ширина B_c выработки, в зависимости от воздействия на нее других выработок (одиночная, сопряжение с пересечением, сопряжение с примыканием);

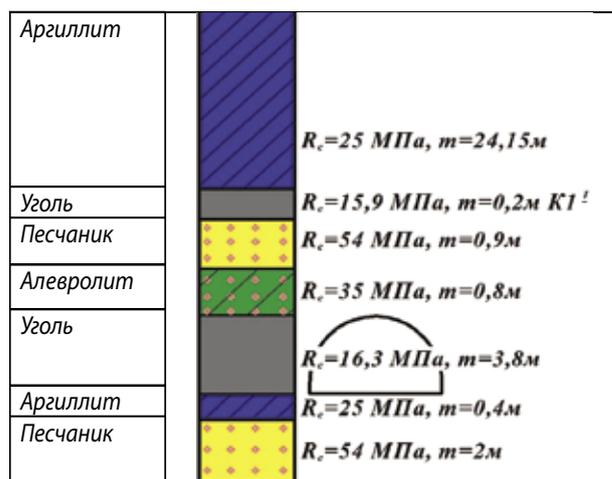
– глубина заложения анкерной крепи рассчитывается, исходя из параметров свода естественного равновесия $h_{св}$, на первом шаге предполагаем, что $h_{св} \leq 0,5 \cdot B_c$ и, соответственно, количество N слоев породы кровли горной выработки определяется на высоте свода $0,5 \cdot B_c$;

– определяется мощность слоев пород и угля в кровле m'_1, m'_2, \dots, m'_n на высоте $0,5 \cdot B_c$ из условия, что $(m'_1 + m'_2 + \dots + m'_n) = 0,5 \cdot B_c$, м, и в боках выработки $(m''_1 + m''_2 + \dots + m''_n) = h$, м;

– производится расчет сопротивления породы и угля в кровле на одноосное сжатие $R_{ск}$, МПа на высоте $0,5 \cdot B_c$, м и сопротивления $R_{сб}$, МПа боков выработки на высоте h , м;

– в зависимости от полученного расчетного сопротивления $R_{сб}$, МПа кровли выработки определяется класс породы кровли горной выработки на устойчивость.

По полученному значению $R_{ск}$, МПа и глубине заложения выработки H , м определяется расчетное смещение пород кровли U_m , МПа для конкретных условий поддержания горных выработок.



Стратиграфический разрез и прочностные параметры горных пород вокруг выработки

На основе анализа нормативных документов по проблемам промышленной безопасности, учета накопленного опыта применения анкерной крепи на угольных шахтах [9, 10, 11, 12] рекомендованы условия применения одно-, двухуровневой, комбинированной схем анкерного крепления в зависимости от глубины заложения выработки H , сопротивления пород на сжатие $R_{ск}$, смещения пород кровли U_m , прочности вмещающих пород (табл. 1).

Ниже представлен пример расчета параметров анкерного крепления горной выработки, проводимой в массиве и поддерживаемой в течение всего срока службы вне зоны влияния очистных работ (табл. 2).

Расчетное средневзвешенное сопротивление пород кровли на сжатие $R_{ск}$ определяется на высоте пород кровли $0,5 \cdot B_c$ по формуле:

$$R_{ск} = \frac{(R_{c1} \cdot m_1 \cdot k_{вл1} + R_{c2} \cdot m_2 \cdot k_{вл2} + \dots + R_{cn} \cdot m_n \cdot k_{влn}) \cdot k_c}{0,5 \cdot B_c}, \text{ МПа}$$

где $R_{c1}, R_{c2}, \dots, R_{cn}$ – сопротивление сжатию слоев пород кровли, МПа; m_1, m_2, \dots, m_n – мощности слоев пород на высоте свода $0,5 \cdot B_c$ и h для пород боков выработки; $k_{влi} = 1$ – коэффициент снижения сопротивления пород сжатию за счет воздействия влаги (не обводненная); $k_c = 0,6$ (III тип кровли) – коэффициент, учитывающий нарушенность массива пород поверхностям без сцепления;

$$R_{\text{ск}} = \frac{(35 \cdot 0,8 + 54 \cdot 0,9 + 15,9 \cdot 0,2 + 25 \cdot 0,8) \cdot 0,6}{2,7} = 22,17 \text{ МПа}$$

Результаты определения расчетного смещения кровли горной выработки, проводимой в массиве и поддерживаемые в течение всего срока службы вне зоны влияния очистных работ приведены в табл. 3.

Так как $R_{\text{ск}} < 35$ МПа, $U_{\text{м}} > 150$ мм, в условиях II категории устойчивости пород следует устанавливать или двухуровневое, или комбинированное крепление. Производится расчет средневзвешенного сопротивления пород кровли на сжатие $R'_{\text{ск}}$ на высоте свода кровли, равного $1,5 \cdot B_c$, м:

$$R'_{\text{ск}} = \frac{(35 \cdot 0,8 + 54 \cdot 0,9 + 15,9 \cdot 0,2 + 5,6 \cdot 25) \cdot 0,6}{8,1} =$$

$$= \frac{131,87}{8,1} = 16,28 \text{ МПа}$$

и в соответствии с условием выбора технологии анкерного крепления (см. табл. 1) $R'_{\text{ск}} < 35$ МПа принимается схема с комбинированной крепью.

Длина анкеров определяется по формуле $\ell_a = \ell_b + \ell_3 + \ell_n$, где ℓ_b – глубина возможного обрушения пород свода, м; ℓ_3 – величина заглубления в устойчивую зону массива пород, составляет 0,3 – 0,5 м; ℓ_n – длина выступающей из шпура части анкера, зависящая от конструкции и толщины опорно-поддерживающих элементов. Эти показатели равны: $\ell_a = 2,6$ м; $\ell_3 = 0,4$ м; $\ell_n = 0,15$ м [11,12].

Высота свода обрушения пород в кровле определяется

по формуле $\ell_b = \frac{a'}{f \cdot k_c}$, где $a' = a + h \cdot \text{tg}(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$; $\varphi = 35^\circ$ –

угол внутреннего трения пород; f – крепость по шкале проф. М.М. Протождяконова, принимается равной значению слабых пород, если слой слабой породы превышает $0,1 \cdot B_c$. Иначе значения определяются по формуле:

$$f = \frac{f_1 m_1 + f_2 m_2 + \dots + f_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

и равны: $\ell_b = 2,03$ м; $a' = 4,416$; $a = 2,7$ м; $\varphi = 35^\circ$; $f_1 = 1,63$; $m_1 = 0,55$ м; $f_2 = 3,5$; $m_2 = 0,8$ м; $f_3 = 5,4$; $m_3 = 0,9$ м; $f_4 = 1,59$; $m_4 = 0,2$ м; $f_5 = 2,5$; $m_5 = 0,25$ м.

Плотность установки анкеров в кровле определяют по формуле:

$$\Pi_k = \frac{(\ell_a - \ell_n) \cdot \gamma_k \cdot n_n}{P_a}$$

где $\gamma_k = \frac{\gamma_1 m_1 + \gamma_2 m_2 + \dots + \gamma_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$; γ_k – средневзвешенный

объемный вес пород кровли в пределах зоны обрушения пород, кН/м³; n_n – коэффициент пригрузки; P_a – расчетная несущая способность анкера, кН. $\Pi_k = 1,53$, анк/м²; $\gamma_k = 25$ кН/м³; $n_n = 2,5$, так как $R_c < 35$ МПа; $P_a = 100$ кН.

Расстояние между анкерами в ряду определяется по

формуле $a_a = \sqrt{\frac{1}{\Pi_k}}$, м и равно $a_a = 0,81$ м.

Количество анкеров в ряду в кровле для арочной формы

выработки определяется по формуле $n_k = \frac{B_c}{a_a} = 7$ анкеров.

Шаг установки анкерной крепи C_k м определяется по формуле:

$$C_k = \frac{n_k \cdot P_a}{(B_c - 0,6) \cdot (\ell_a - \ell_n) \gamma_k \cdot n_n}, \text{ м. } C_k = 0,85 \text{ м.}$$

Поскольку анкерная крепь в данных условиях может применяться только в сочетании с рамной, определяется плотность установки рамной металлоарочной крепи.

Плотность установки рам металлической податливой крепи кровли определяется по формуле

$$n = \frac{(\ell_a - \ell_n) \cdot \gamma_k \cdot B_c}{N}$$

где N – сопротивление рамной крепи, кН/м; γ_k – средневзвешенный объемный вес пород кровли в пределах зоны обрушения пород (на высоте кровли $0,5 \cdot B_c$), МН/м³, и равна: $n = 1,14$ рам/м; $N = 290$ кН – сопротивление крепи КМП-А3 с планкой ЗПК; $\gamma_k = 25$ МН/м³. Плотность установки рам металлической податливой крепи при комбинированной схеме крепления определяется по формуле $N = n \cdot \Psi$, где Ψ – поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение плотности установки рамной крепи при наличии анкерного крепления с учетом класса пород по устойчивости: $N = 0,6$ рам/м; $\Psi = 0,52$.

Таблица 3

Расчетное смещение кровли горной выработки

Величина	Порядок расчета	Результат
Расчетное смещение кровли $U_{\text{м}}$, мм	$U_{\text{м}} = U_{\text{т}} \cdot K_{\alpha} \cdot K_{\text{ш}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{а}}$	$U_{\text{м}} = 265 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,75 = 218,67$ мм; $K_{\alpha} = K_{\text{ш}} = K_{\text{в}} = K_{\text{а}} = 1$
Типовые смещения кровли $U_{\text{т}}$, мм	$U_{\text{т}} = f(H, R_c)$, при $B = 5$ м	265 мм
Глубина заложения выработки, м	Н	660 м
Коэффициент $K_{\text{ш}}$, учитывающий отличие расчетной ширины выработок от $B = 5$ м	$K_{\text{ш}} = 0,25 \cdot (B_c - 1)$, B_c – фактическая ширина выработки	$B_c = 5,4$ м
Коэффициент $K_{\text{в}}$, учитывающий влияние других смежных выработок на расстояниях	$K_{\text{в}} = 1$, при $\ell \geq 15$ м,	$\ell \geq 15$ м
Коэффициент $K_{\text{а}}$, учитывающий расположение выработок	$K_{\text{а}} = f(\text{расположение выработок})$	$K_{\text{а}} = 1$, сбойка
Коэффициент K_{α} , учитывающий степень связывания и упрочнения пород	$K_{\alpha} = f(\text{длина закрепления стержня анкера})$	$K_{\alpha} = 0,75$, по всей длине

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод позволяет выполнять расчеты параметров анкерного крепления для:

- выработок и сопряжений различной технологической ширины;
- выработок, расположенных в зонах опорного и повышенного горного давления;
- снижения дефектности контуров горных выработок.

Список литературы

1. Современные технологии двухуровневого анкерного крепления: перспективы применения при отработке рудных месторождений полезных ископаемых в различных горно-геологических условиях. / П.В. Гречишкин, Е.А. Разумов, Д.Ф. Зяятдинов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 10. С. 182-200.
2. Зубов В.П. Применяемые технологии и актуальные проблемы ресурсосбережения при подземной разработке пластовых месторождений полезных ископаемых // Горный журнал. 2018. № 6. С. 77-83. DOI: 10.17580/gzh.2018.06.16 .
3. Метод расчета параметров анкерной крепи глубокого заложения для поддержания горных выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях угольных шахт / А.С. Позолотин, М.А. Розенбаум, А.А. Ренев и др. // Уголь. 2013. № 4. С. 32-34. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042013.pdf#3> (дата обращения: 15.03.2021).
4. Характер напряженно-деформированного состояния массива пород вокруг анкерных крепей / С.Б. Алиев, В.Ф. Демин, Н.А. Милетенко и др. // Маркшейдерия и недропользование. 2013. № 1 (63). С. 38-40.
5. Исследование проявлений горного давления и характера взаимодействия различных видов крепления с

вмещающими породами вокруг выработки / В.Ф. Демин, Т.В. Демина, С.Б. Алиев и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 57. С. 34-43.

6. Установление параметров анкерного крепления в зависимости от горно-технологических условий эксплуатации выработок / С.Б. Алиев, В.Ф. Демин, В.В. Яворский и др. // Уголь. 2013. № 1. С. 69-72. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/012013.pdf> (дата обращения: 15.03.2021).

7. Томилов А.Н. Обоснование параметров проведения горных выработок с использованием технологии анкерного крепления / Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD). 2020. 198 с. URL: https://www.kstu.kz/wp-content/uploads/2020/11/Dissertatsiya_Tomilov-A.N.-2020.pdf (дата обращения: 15.03.2021).

8. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна. Караганда: Филиал РГП «Национальный НИЦ по проблемам промышленной безопасности», 2008. 88 с.

9. Опыт применения канатных анкеров с повышенной несущей способностью в условиях ООО «Шахта «Осинниковская» / А.А. Дудин, Е.В. Вахрушев, С.Е. Злобин и др. // Уголь. 2020. № 3. С. 34-37. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-3-34-37.

10. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчёту и применению анкерной крепи на угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 42. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015. 186 с.

11. СНиП П-94-80. Подземные горные выработки. М.: ФГУП ЦПП, 2004. 28 с.

12. Правила по обеспечению промышленной безопасности при разработке подземным способом соляных месторождений Республики Беларусь. Солигорск – Минск, 2017.

Original Paper

UDC 622.831:622.281.74 © S.B. Aliev, V.F. Demin, A.N. Tomilov, N.A. Miletchenko, 2021
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 4, pp. 15-19
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-4-15-19>

Title

CALCULATION OF BOLTING PARAMETERS FOR COAL MINE DEVELOPMENT

Authors

Aliev S.B.¹, Demin V.F.², Tomilov A.N.², Miletchenko N.A.¹

¹ Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences (IPKON RAS), Moscow, 111020, Russian Federation

² Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan

Authors' Information

Aliev S.B., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences Republic of Kazakhstan, Senior Researcher, e-mail: alsamat@yandex.ru

Demin V.F., Doctor of Engineering Sciences, Professor of Mineral deposit development department, e-mail: vladfdemin@mail.ru

Tomilov A.N., Senior Lecturer, e-mail: tom44487@mail.ru

Miletchenko N.A., PhD (Engineering), Senior Researcher, e-mail: nmilet@mail.ru

Abstract

The paper discusses a method to calculate bolting parameters for coal mine workings in different geological and technical conditions of their operation. Conditions for using single-level, two-level and combined bolting systems are recommended.

Keywords

Underground mine workings, Calculation method, Bolting, Single-level, two-level, combined systems

References

1. Grechishkin P.V., Razumov E.A., Zayyatdinov D.F. et al. Modern technologies of two-level anchoring: prospects of application to ore deposit mining in different mining and geological conditions. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2016, (10), pp. 182-200. (In Russ.).
2. Zubov V.P. Technologies employed and current challenges of resource conservation in underground mining of stratified mineral deposits. *Gornyi Zhurnal*, 2018, (6), pp. 77-83. (In Russ.). DOI: 10.17580/gzh.2018.06.16.
3. Pozolotin A.S., Rozenbaum M.A., RENEV A.A., Razumov E.A. & Chernyakhovsky S.M. Method of Calculation of Great Depth Bolting for Supporting

UNDERGROUND MINING

Excavations in Various Mining & Geological and Mining & Technical Conditions of Coal Mines. *Ugol'*, 2013, (4), pp. 32-34. Available at: <http://www.ugolino.ru/Free/042013.pdf> (accessed 15.03.2021). (In Russ.).

4. Aliev S.B., Demin V.F., Miletenko N.A. et al. The nature of stress-and-strain state of rock mass around rock bolt supports. *Marksheyderia i nedropol'zovanie*, 2013, (63), pp. 38-40. (In Russ.).

5. Demin V.F., Demina T.V., Aliev S.B. et al. Study of rock pressure manifestations and interaction patterns of different types of rock support with host rocks around excavation. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2012, (57), pp. 34-43. (In Russ.).

6. Aliev S.B., Demin V.F., Yavorsky V.V. & Demina T.V. Establishing Anchorage Parameters Depending on the Mining and Technological Conditions of Excavation Operation. *Ugol'*, 2013, (1), pp. 69-72. Available at: <http://www.ugolino.ru/Free/012013.pdf> (accessed 15.03.2021). (In Russ.).

7. Tomilov A.N. Justification of parameters for mine workings supported with rock bolts. PhD thesis 2020, 198 p. Available at: https://www.kstu.kz/wp-content/uploads/2020/11/Dissertatsiya_Tomilov-A.N.-2020.pdf (accessed 15.03.2021). (In Russ.).

8. Guidelines for calculation and installation of bolt support in mines in the Karaganda Basin. Karaganda, Branch of National Research Centre for Industrial Safety, 2008, 88 p.

9. Dudin A.A., Vachrushev E.V., Zlobin S.E., Lapshin A.V., Datskevich N.Yu., Matveev A.S. & Sizintsev D.E. The experience of using rope anchors with increased bearing capacity in the conditions of "Osinnikovskaya" mine LLC. *Ugol'*, 2020, (3), pp. 34-37. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-3-34-37.

10. Federal norms and rules in the field of industrial safety "Instructions for the calculation and use of anchor support in coal mines". Series 05, Issue 42. Moscow, NTC PB JSC, 2015, 186 p. (In Russ.).

11. SNiP P-94-80. Underground mine workings. Moscow, FGUP TsPP Publ., 2004, 28 p. (In Russ.).

12. Industrial Safety Rules for Underground Mining of Salt Deposits of the Republic of Belarus. Soligorsk – Minsk, 2017.

For citation

Aliev S.B., Demin V.F., Tomilov A.N. & Miletenko N.A. Calculation of bolting parameters for coal mine development. *Ugol'*, 2021, (4), pp. 15-19. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-15-19.

Paper info

Received February 5, 2021

Reviewed February 25, 2021

Accepted March 17, 2021