

Методика расчета параметров анкерной крепи подземных горных выработок угольных шахт, проводимых в многолетнемерзлых породах

РАЗУМОВ Евгений Анатольевич

Технический директор ООО «РАНК 2»

ГРЕЧИШКИН Павел Владимирович

*Научный сотрудник Института угля СО РАН,
канд. техн. наук*

МАТВЕЕВ Андрей Сергеевич

Инженер по анкерному креплению ООО «РАНК 2»

ПОЗОЛОТИН Александр Сергеевич

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

ЗЯЯТДИНОВ Дамир Фанисович

*Заместитель директора по перспективному
развитию ООО «РАНК 2»*

В статье представлена методическая база для расчета двухуровневой анкерной крепи подготовительных выработок угольных шахт, проводимых в многолетнемерзлых породах. Для обеспечения устойчивости вмещающих пород выработок, снижения темпов оттаивания и расслоения пород рассмотрено применение анкерной крепи в сочетании с теплоизоляцией.

Ключевые слова: угольная шахта, многолетняя мерзлота, анкерная крепь, ампулы с минеральной композицией, подготовительные выработки, теплоизоляционные материалы.

Контактная информация: e-mail: pv_grechishkin@mail.ru

При разработке месторождений на севере и северо-востоке России на угольных шахтах охрана горных выработок, проводимых в многолетнемерзлых породах, осуществляется с применением крепей поддерживающего типа. При сезонном или прогрессирующем оттаивании вмещающих горных пород происходит резкое снижение их физико-механических свойств и устойчивости, что приводит к деформациям и поломкам крепи. В зоне опережающего опорного давления от очистного забоя регулярно возникает необходимость перекрепления штреков. Это обуславливает постоянный рост капитальных и эксплуатационных затрат на крепление и поддержание горных выработок в условиях многолетнемерзлых пород.

В сложных условиях норильских шахт при совокупном влиянии теплового режима и опорного давления от очистных работ наиболее эффективное поддержание выработок достигалось при применении железобетонной штанговой крепи с усилением ее крепью поддерживающего типа [1]. Известно, что преимущества усиления крепи канатными анкерами в сравнении с крепью поддерживающего типа сделало двухуровневую анкерную крепь практически безальтернативным вариантом при поддержании выработок в зоне влияния очистных работ на шахтах Кузбасса и России [2].

Для широкого применения двухуровневого анкерного крепления выработок, проводимых в многолетнемерзлых породах, необходимо усовершенствовать методическую и нормативную базу по расчету крепи, а также разработать конструкцию крепи, обеспечивающую надежное ее закрепление в мерзлых породах.

Физико-механические свойства мерзлых пород

Особенностью мерзлых пород является изменение их теплофизических свойств при достижении температуры таяния.

Влажность — один из основных факторов, влияющих на устойчивость горных выработок. Она определяет многие специфические свойства мерзлых пород, такие как льдоцементация, анизотропность механических свойств и ползучесть. Вследствие цементации всех трещин и пор льдом горные породы обладают высокой устойчивостью, которая снижается при оттаивании: с изменением температуры мерзлых пород от — 4 до 0°C прочность на сжатие аргиллитов и песчаников уменьшается на 10 % [1].

В мерзлых породах выделяют три зоны: зона многолетней мерзлоты, переходная зона, подмерзлотные горизонты.

Охарактеризовать каждую из этих зон можно следующим образом:

— зона многолетней мерзлоты — обнажения горных пород обладают высокой устойчивостью вследствие цементации всех трещин и пор льдом;

— переходная зона — мелкие трещины и поры заполнены льдом, по крупным трещинам циркулирует переохлажденная вода с повышенной минерализацией. Как правило, это напорные подмерзлотные воды. Из трещин могут быть суффлярные выделения метана. Устойчивость обнажения различная: относительно высокая там, где нет трещин, геологических нарушений и сравнительно низкая, где они есть;

— зона подмерзлотных горизонтов — характеризуется наличием подмерзлотных вод, большими газовыделе-

ниями и обычной для осадочных пород устойчивостью обнажения.

Как показывает опыт шахты «Джебарики-Хая», оттаивание пород вокруг контура выработки $\Delta R_{от}$ в летнее время, когда в шахту подается теплый воздух, может достигать 0,5 м. В части массива между зоной оттаивания и зоной мерзлых пород происходит значительное (до четырех раз) снижение прочностных показателей. Непосредственная кровля пласта «Верхний» сложена песчаником тонкозернистым, светло-серым, слоистость прерывистая, трещиноватым (75€-90€), отмечены обуглившиеся остатки растительности, мощностью 6,0 м с коэффициентом крепости по шкале проф. Протоdjаконова от $f=5-7$. По обрушаемости кровля относится ко III типу, а по устойчивости — к I классу. Основная кровля представлена песчаниками серого цвета, кварцево-полепчатый, цемент глинисто-кремневый, мощностью 14 м. Коэффициент крепости по шкале проф. Протоdjаконова составляет $f=5-7$. Глубина ведения горных работ от поверхности — 196,5-141,7 м.

Теплоизоляционные материалы и их характеристики

В 1970-х гг. активно прорабатывались варианты поддержания горных выработок анкерной крепью при использовании полимерных теплоизоляционных материалов, в частности пенополистирола [3]. Однако из-за таких недостатков, как хрупкость, горючесть, малая гибкость, неудобство при монтаже и др., они не получили широкого применения на шахтах.

На сегодняшний день существует ряд теплоизоляционных материалов, свободных от указанных недостатков, которые могут обеспечить изоляцию приконтурных пород горных выработок и минимизировать их оттаивание. Такими материалами являются утеплители на основе базальтового волокна (табл. 1).

Применение современной теплоизоляции позволит значительно снизить параметры ореола оттаивания вмещающих пород выработок, а, следовательно, нагрузки на крепь.

Величину ореола оттаивания можно определить по формуле Ф.Я. Новикова [1]:

$$\Delta R_{от} = \frac{R_0^{0,14} \cdot t^{0,48} \cdot \lambda_{II}^{0,43} \cdot \tau_{отт}^{0,43}}{-T_0^{0,05} \cdot (0,8 \cdot W_{II} \cdot \gamma)^{0,43}}, \text{ м}$$

Таблица 1

Характеристики базальтовых утеплителей

Параметры	Значение
Теплопроводность	$\lambda_{10} = 0,036 \text{ Вт/ (м·К)}$ $\lambda_{25} = 0,037 \text{ Вт/ (м·К)}$
Группа горючести	НГ
Водопоглощение по объему, % не более	0,3
Достоинства:	
— различные размеры плит;	
— устойчивость к воздействию высоких температур;	
— стабильность объема и формы;	
— плиты устанавливаются в полиэтиленовой термоусадочной пленке;	
— при циклическом действии температуры сохраняют свои характеристики и геометрические формы;	
— срок службы достигает 30-40 лет	

где: R_0 — эквивалентный радиус выработки, м; λ_{II} — теплопроводность пород, ккал/м·град; $\tau_{отт}$ — время оттаивания, час; T_0 — температура массива пород, град; W_{II} — влажность пород, %; γ — объемный вес пород, т/м³; t — температура воздуха, град.

При использовании теплоизоляционных материалов существенное влияние на уменьшение ореола оттаивания оказывает изменение эффективной теплопроводности массива.

Эквивалентный радиус выработки определяется по формуле [1]:

$$R_0 = 0,564 \cdot \sqrt{S}, \text{ м}$$

где: S — сечение выработки, м².

Величина ореола оттаивания с применением теплоизоляционных материалов для кровли и боков выработки определяется по формуле [1]:

$$\Delta R_{отт} = \Delta R \left(\frac{\lambda_{эф}}{\lambda_{II}} \right)^{0,43}, \text{ м}$$

Величина эффективной теплопроводности массива сложного строения [1]:

$$\lambda_{эф} = \frac{6 \cdot \lambda_{II} \cdot \lambda_{из}}{\lambda_{II} \cdot b_{из} + \lambda_{из} (6 - b_{из})}, \text{ ккал/м·град}$$

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОЙ КРЕПИ

Расчет параметров анкерной крепи первого уровня

Величина возможного разрушения (отжима угля) боков выработки [4]:

$$C = h \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{90^\circ + \beta_\phi}{2} \right), \text{ м}$$

где: β_ϕ — угол внутреннего трения горных пород в боках выработки, вне зоны влияния очистных работ, град.; h — высота выработки, с учетом зоны оттаивания, м.

Средневзвешенный коэффициент крепости пород непосредственной кровли пласта по шкале проф. М.М. Протоdjаконова определяется по формуле [4]:

$$f_{ср.взв} = \frac{(m_1 \cdot f_1 + m_2 \cdot f_2 + m_n \cdot f_n \dots) \cdot K_c}{B},$$

где: K_c — коэффициент снижения прочности; m_1 — зона подмерзлотных горизонтов, м; $m_2 \dots m_n$ — мощность зоны мерзлых пород, м; B — ширина выработки, м; f_1 — коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протоdjаконова в зоне оттаивания; $f_2 \dots f_n$ — коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протоdjаконова в зоне мерзлых пород.

Высота свода естественного равновесия пород кровли вне зоны влияния очистных работ:

$$b_1 = \frac{a}{f_{ср.взв}}, \text{ м},$$

где: a — полупролет выработки с учетом возможного разрушения (отжима угля) боков, м.

Ожидаемая нагрузка на один погонный метр крепи горной выработки определяется из выражения [4]:

$$P_{ож} = \frac{4}{3} \cdot a \cdot b_1 \cdot \gamma, \text{ кН/п. м},$$

где: γ — объемный вес пород непосредственной кровли.

Удельная нагрузка на 1 м² горной выработки определяется по формуле:

$$P_{уд} = \frac{P_{ож}}{B}, \text{ кН/м}^2.$$

Длина анкеров первого уровня для крепления кровли выработки рассчитывается по формуле:

$$L_{a.к} = b_1 + l_3 + l_6, \text{ м},$$

где: l_3 — минимальная глубина закрепления анкера в шпуре; $l_6 = 0,1-0,2$ м — длина выступающей в выработку части анкера.

Шаг установки крепи по плотности установки:

$$C_k = \frac{n_k}{\Pi \cdot B}, \text{ м},$$

где: n_k — количество анкеров в ряду (принимается согласно Инструкции [5], исходя из плотности установки не менее 1 анкер/м² шт.); B — ширина выработки в проходке, м.

Расчет параметров анкерной крепи глубокого заложения

Выполняется с использованием основных положений теории свода [4, 6].

Высота свода естественного равновесия пород кровли:

$$b_2 = \frac{a}{f_{ср.вз} \cdot K_c \cdot K_{вл}},$$

где: K_c — коэффициент структурного ослабления [4]; $K_{вл}$ — коэффициент снижения сопротивления пород за счет воздействия влаги [7].

Ожидаемая нагрузка на один погонный метр крепи горной выработки определяется из выражения:

$$P_{ож2} = \frac{4}{3} \cdot a \cdot b_2 \cdot \gamma, \text{ кН/м}$$

Удельная нагрузка на крепь выработки определяется по формуле:

$$P_{уд.2} = \frac{P_{ож2}}{B}, \text{ кН/м}^2$$

Количество канатных анкеров для усиления крепи кровли горной выработки рассчитывается по формуле:

$$n_{к/а} = \frac{P_{ож2}}{N_{a.к}},$$

где: $N_{a.к}$ — расчетная несущая способность канатного анкера АК01, МПа.

Расчетная длина канатных анкеров АК01 определяется по формуле:

$$l_{к.а} = K_3 (b_1 + l_3 + l_6), \text{ м}$$

где: K_3 — коэффициент запаса прочности; l_3 — минимальная глубина закрепления анкера в шпуре, м; l_6 — длина выступающей в выработку части анкера, м.

На основе представленной методики для условий шахты «Джебарики-Хайя» разработана схема анкерной крепи штрека, см. рисунок [8].

Конструкция анкерной крепи

Применение сталеполимерной анкерной крепи в шахтах, отрабатывающих запасы угля в условиях многолетней мерзлоты, осложнено по следующим причинам:

- при температуре воздуха -10°C скорость отверждения смолы полимерных ампул примерно в 10 раз меньше, чем при положительной температуре $+20^\circ\text{C}$ [9];

- установку анкеров необходимо осуществлять до остывания стенок шпура, разогретых вследствие бурения;

- срок хранения полимерных ампул составляет шесть месяцев с момента выпуска при температуре не выше $+20^\circ\text{C}$;

- рекомендуемая температура применения полимерных ампул составляет $+20^\circ\text{C}$, однако в районах многолетней мерзлоты обеспечить такие температурные условия хранения и применения крайне затруднительно.

В условиях золотых рудников ОАО «Бурятзолото» более двух лет успешно применяется сталеполимерная анкерная крепь. Анкеры АКМ 20.01-01 производства ООО «АМК» закрепляют на ампулы с минеральной композицией типа АМК: рудник «Ирокинда» — в условиях многолетней мерзлоты, шахта «Зун-Холбинская» — в условиях островной мерзлоты.

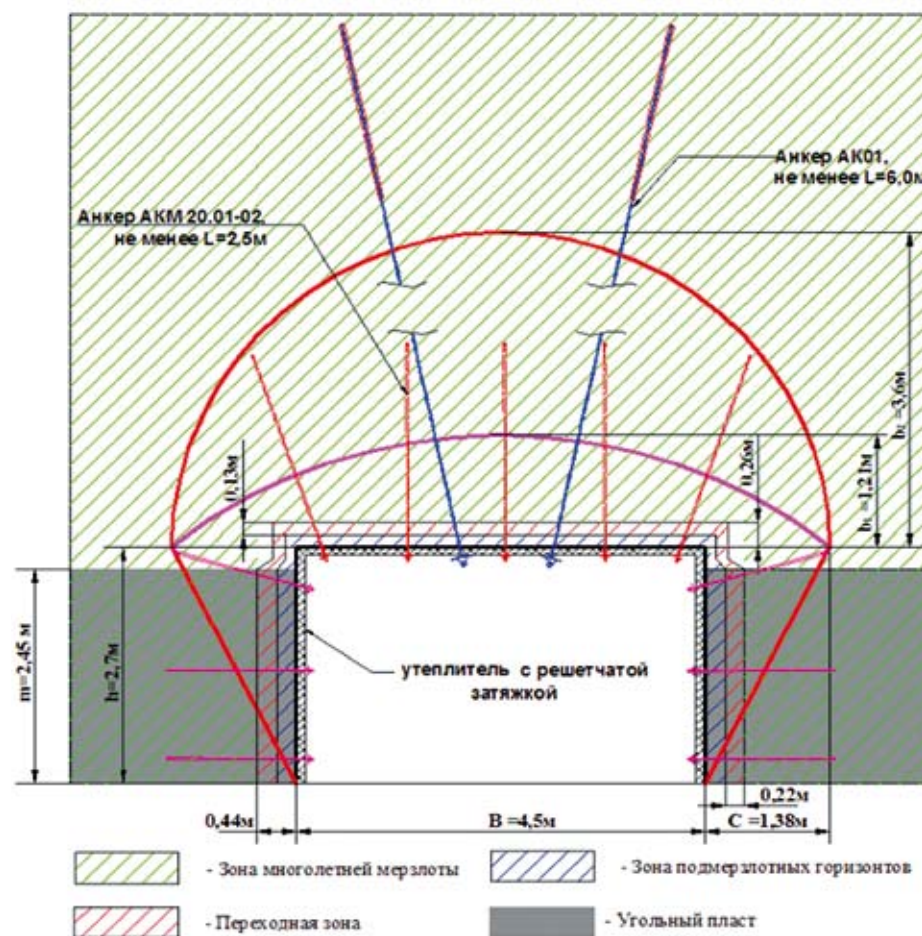


Схема анкерной крепи штрека для условий шахты «Джебарики-Хайя»

Таблица 2

Технические характеристики анкеров АКМ 20.01-01, АК01

Анкер комбинированный АКМ 20.01-01	
Наименование	Значение
Диаметр шпура, мм	27 — 45
Длина стержня анкера, мм	500 — 3500
Длина резьбовой части не менее, мм	200
Расчетная несущая способность, кН	110
Рекомендуемая величина предварительного натяжения, кН	10
Канатный анкер АК01	
Наименование	Значение
Расчетная несущая способность, кН	210
Относительное удлинение анкера при нагрузке 210 кН, не более, %	1,3
Прочность соединения гайки с муфтой, не менее, кН	270
Рекомендуемая величина предварительного натяжения анкера, кН	10
Диаметр грузонесущего стержня, мм	15,2
Длина муфты с резьбой, мм	120
Шаг резьбы, мм	11

Таблица 3

Технические характеристики ампулы АМК

Наименование показателей	АМК400	АМК600
Длина, мм	400	600
Диаметр, мм	23; 32; 36; 40	23; 32; 36; 40

11 апреля 2012 г. в условиях шахты «Джебарики-Хая» на главном вентиляционном штреке ПК280 была проведена установка канатных анкеров типа АК01 и комбинированных анкеров типа АКМ 20.01-01 в мерзлые породы. Анкеры устанавливались на ампулы АМК400. После установки были проведены испытания крепи на фактическую несущую способность по методике [9], которые подтвердили заявленные характеристики анкерной крепи (табл. 2).

Температура хранения ампул АМК варьируется в пределах от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Технические характеристики ампул АМК представлены в табл. 3.

Выводы

1. Разработана конструкция сталеминеральной анкерной крепи, которая обеспечивает ее надежное закрепление в многолетнемерзлых породах.
2. Эффективность использования представленной сталеминеральной анкерной крепи обусловлена сохранением ее работоспособности при широком диапазоне температур хранения и применения в северных районах.
3. Разработана методика расчета параметров двухуровневой анкерной крепи, учитывающая применение теплоизоляционных материалов для обеспечения устойчивости вмещающих пород выработок, снижения темпов их оттаивания и расслоения. В настоящее время ведется процедура внедрения анкерной крепи и апробация методики на шахте «Джебарики-Хая».

Список литературы

1. Скуба В. Н. Совершенствование разработки угольных месторождений области многолетней мерзлоты. — Якутск: Якутское книжное издательство. — 1974. — 317 с.

2. Клишин В. И., Гречишкин П. В., Серов А. А., Разумов Е. А. Современные технологии анкерного крепления: опыт применения и перспективы // Научно-технический журнал «Рудник будущего». — 2012. — вып. №3(11). — С. 89-96.

3. Авксентьев И. В., Скуба В. Н. Исследование устойчивости и теплоизоляция горных выработок в условиях многолетней мерзлоты. — М.: ЦНИЭИуголь. — 1975. — 45 с.

4. Механика горных пород и устойчивость выработок шахт Кузбасса / В. М. Станкус [и др.]; под ред. В. Г. Кожеева. — Кемерово: Кемеровское книжное издательство. — 1973. — 345 с.

5. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России. — СПб.: 2000. — 70 с.

6. Цимбаревич П. Н. Механика горных пород. — М.: Углетехиздат. — 1948. — 184 с.

7. Методика расчета и выбора параметров крепи на сопряжениях горных выработок при одинарной и парной подготовке выемочных столбов. — СПб.: 2004. — 84 с.

8. Разумов Е. А. Методика расчета параметров анкерной крепи подземных горных выработок в условиях вечной мерзлоты / Е. А. Разумов, В. А. Еременко, Д. Ф. Зяятдинов, А. С. Матвеева, П. В. Гречишкин, А. С. Позолотин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — №9. — С. 39-47.

9. Васильев С. Д. Обоснование и разработка методики расчета крепления сталеполимерной анкерной крепью горных выработок для условий многолетней мерзлоты: автореферат дис.... канд. техн. наук. — М.: 2013. — 24 с.

10. Методика шахтных испытаний отдельных положений «Инструкции по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Кузбасса — Первая редакция». — СПб.: ВНИМИ. — 2010. — 12 с.