

УДК 622.28.044

Н.И. Ступник¹, д-р техн. наук, проф.,
 М.Б. Федько¹, канд. техн. наук, доц.,
 С.В. Письменный¹, канд. техн. наук, доц.,
 В.А. Колосов², д-р техн. наук

1 – Криворожский национальный университет, г.Кривой Рог, Украина

2 – Асоціація „Укррудпром“, г.Кривой Рог, Украина

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫБОРУ ТИПА КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И ИХ СОПРЯЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ УРАНОВЫХ ШАХТ ГП „ВОСТГОК“

N.I. Stupnik¹, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
 M.B. Fedko¹, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
 S.V. Pismennyi¹, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
 V.A. Kolosov², Dr. Sci. (Tech.)

1 – Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine

2 – Ukrudprom, Kryvyi Rih, Ukraine

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR CHOOSING EXCAVATION SUPPORT TYPES AND JUNCTIONS FOR URANIUM MINES OF STATE-OWNED ENTERPRISE SKHIDHZK

Цель. Разработка рекомендаций по выбору рационального типа крепления горных выработок и их сопряжений.

Методика. Для разработки рекомендаций использовались общенаучные и специальные методы исследований: анализ литературных источников, метод критического анализа и обобщения теоретических исследований; метод системного подхода; метод экономико-математического моделирования. Обеспечение оперативности и точности расчетов осуществлялось на ЭВМ в редакторе Windows XP Professional.

Результаты. Разработаны рекомендации и предложения по выбору рационального типа крепления горных выработок и их сопряжений в условиях урановых шахт ГП „ВостГОК“, которые учитывают, помимо класса устойчивости горных пород и уровня их напряженного состояния, ширину горной выработки и необходимое (предполагаемое) время ее эксплуатации. Даны рекомендации по определению параметров анкерной, набрызг-бетонной и комбинированной крепи, а также приведены примеры расчетов параметров различных видов крепи для конкретных условий.

Научная новизна. Установлены новые зависимости устойчивости горных пород от уровня их напряженного состояния, соответствующего классу устойчивости пород, влияющие на размеры горных выработок и время их эксплуатации.

Практическая значимость. Определены значения коэффициента структурного ослабления массива. Предложены методики расчета необходимой длины анкера, глубины заделки анкера в неразрушенном массиве, длины концевой части анкера, выступающего в выработку. Определено оптимальное расстояние между анкерами в зависимости от сечения анкера, предела прочности материала анкера на разрыв, коэффициента запаса прочности. Предложена методика определения необходимой толщины крепления от предела прочности набрызг-бетона на одноосное сжатие в случае использования набрызг-бетонной крепи в качестве самостоятельного типа крепления горной выработки. При использовании комбинированной крепи (анкера с набрызг-бетоном; анкера с дополнительной затяжкой металлической сеткой и последующим нанесением набрызг-бетона; анкера с дополнительной сварной решетчатой затяжкой или металлической рамной крепью) параметры каждого из указанных видов крепи рассчитываются по усовершенствованной методике.

Ключевые слова: крепление, выработки, сопряжения, анкера, урановые шахты

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. за счет концентрации горных работ и повышения их В настоящее время основными инструктивными документами, которыми руководствуются на шахтах ГП „ВостГОК“ при выборе типа крепления горных выработок и их сопряжений, являются „Інструкція з визначення стійкості гірських порід при проходженні гірничих виробок в умовах уранових

родовищ, що розробляються ДП „СхідГЗК“, „Рекомендації по вибору крепления сопряжений горных выработок, погашаемых в процессе очистной выемки“, а также „Стандарт предприятия СТП 39-73. Технология проведения горизонтальных горных выработок основного и промежуточного горизонтов“.

Анализ исследований и публикаций. Исследовав существующие в практике горного дела и приведенные в горнотехнической литературе рекомендации по креплению горных выработок, а также проанализировав существующие инструкции, необходимо отметить, что

горные выработки подлежат креплению в соответствии с правилами безопасности даже в случаях, когда выработки пройдены в весьма крепких и устойчивых породах и вполне могут обходиться без крепления.

В работе [1] автор отмечает, что в весьма устойчивых и устойчивых породах выработки не требуется несущая крепь, а вполне достаточно, при длительной их эксплуатации, применения изолирующей, ограждающей или изолирующе-ограждающей крепи. В ограниченно устойчивых и малоустойчивых породах целесообразно применение упрочняющей, упрочняюще-изолирующей или подпорной крепи, а в неустойчивых и весьма неустойчивых породах необходимо исключительно применение подпорной крепи.

В работе [1] отмечается важность оперативной оценки устойчивости выработок для определения характера напряженного состояния массива, что, в свою очередь, позволит правильно подойти к вопросу определения типа крепи и ее параметров.

Авторы приводят рекомендации по выбору конструкции крепи в зависимости от характеристик горных пород и предлагают использовать в ограниченно-устойчивых и малоустойчивых породах штанговую (анкерную) крепь, при развитой трещиноватости и для предотвращения разрушения выветренных пород – набрызг-бетонную крепь, а крепление малоустойчивых и неустойчивых пород производить комбинированной крепью.

Более современный подход к выбору типа крепи изложен в работе [2], где авторы предлагают рассчитывать коэффициент устойчивости выработки по формуле

$$K_{yc} = \sqrt{\frac{[\tau_{cp}]}{\tau_{cp}^{кб}}}$$

где $[\tau_{cp}]$ – предел прочности пород (руд) на срез;

$\tau_{cp}^{кб}$ – действующее напряжение на срез в кровле или боках выработки.

На основе выполненного анализа установлено, что для выполнения поставленной в работе задачи необходимо разработать более совершенный подход к выбору типа крепи выработок и их сопряжений.

Постановка задачи. Целью работы является разработка рекомендаций по выбору типа крепления горных выработок и их сопряжений, учитывающих, помимо класса устойчивости горных пород и уровня их напряженного состояния, ширину горной выработки и необходимое (предполагаемое) время ее эксплуатации.

Изложение основного материала. Проанализировав вышеизложенные рекомендации, а также взяв за основу инструкции по предприятию, мы предлагаем более совершенный, с нашей точки зрения, подход к выбору типа крепи выработок и их сопряжений, учитывающий, помимо класса устойчивости горных пород и уровня их напряженного состояния, ширину горной выработки и необходимое (предполагаемое) время ее эксплуатации. Выбор типа крепи производится в соответствии с таблицей.

При этом следует учитывать, что технология возведения каждого типа крепи должна соответствовать требованиям документа „Стандарт предприятия СТП 39-73. Технология проведения горизонтальных горных выработок основного и промежуточного горизонтов“ и рассчитанным для конкретных условий параметрам.

Также необходимо иметь в виду, что при использовании анкерной крепи при проведении горных выработок в рудном массиве, подлежащем последующему обрушению (например, буровые выработки), целесообразно применять стеклопластиковые анкера, а при значительной трещиноватости пород (руд) необходимо устанавливать под гайку металлическую плиту размером не менее 150x150мм.

При использовании комбинированной крепи, как уже было отмечено ранее, необходимо вначале нанесение по периметру выработки (кровля и бока) набрызг-бетона толщиной 3–5см для выравнивания ее контура, после чего устанавливаются анкера (или анкера с дополнительной затяжкой сеткой), а затем, в случае необходимости, может быть нанесен второй слой набрызг-бетона по своду выработки с доведением его до необходимой толщины в зависимости от устойчивости пород.

Расчет анкерной крепи состоит в определении размеров области разрушения или деформации массива вокруг выработки, величины нагрузки на крепь, несущей способности составных элементов крепи, длины и плотности установки анкеров.

Существует много расчетных методов определения давления горных пород на крепь выработок, которые можно разделить на две группы:

- методы расчета по заданной нагрузке, основанные на положениях и представлениях строительной механики;
- методы расчета по заданной деформации, рассматривающие давление как результат взаимодействия крепи и боковых пород.

Большее распространение получила первая группа методов, поскольку при менее сложных и трудоемких расчетах позволяет получить параметры, обеспечивающие несущую способность крепи, а, соответственно, и сохранность выработки в течение всего срока ее эксплуатации.

Для определения параметров анкерной крепи мы предлагаем использовать довольно распространенную методику, приведенную в работах [3–5].

Размеры нарушенной зоны в кровле выработки (т.е. высота предполагаемого свода обрушения пород) может быть определена по формуле, предложенной проф. А.А. Борисовым, м

$$B = 0,5 \cdot (a_g \cdot \cos \alpha - \eta_n \cdot \sqrt{\frac{0,04 \cdot [\sigma_{сжс}] \cdot t_i}{n \cdot \gamma \cdot \cos \alpha}}) \cdot \operatorname{tg} \delta,$$

где a_g – ширина выработки; α – угол наклона трещин наибольшего ослабления или угол падения слоев пород, град.; $\eta_n = 0,5–0,8$ – коэффициент, учиты-

вающий ползучесть пород; $[\sigma_{сжс}]$ – предел прочности пород при сжатии, т./м²; t_i – расстояние между трещинами в направлении, нормальном к поверхностям системы трещин наибольшего ослабления, м; $n = 2-4$ – коэффициент запаса; γ – объемный вес пород, т./м³; δ – угол наклона линии облома слоев пород у опор (для крепких пород он равен 60–80°, для ослабленных пород может достигать 90–100°).

Величина действующих напряжений на контуре в боках выработки с учетом тектонических горизон-

тальных напряжений рассчитывается по формуле, т./м²

$$\sigma_d = \frac{\lambda \cdot \gamma \cdot a_n}{f \cdot K_c},$$

где $\lambda = \sigma_1 / \sigma_3$ – коэффициент бокового распора, доли ед.; f – коэффициент крепости горных пород по материалам проф. М.М. Протождяконова; K_c – коэффициент структурного ослабления массива, доли ед.

Таблица

Выбор типа крепления горных выработок и их сопряжений

Уровень напряженного состояния массива, η	Ширина выработки ав (м) или сопряжение	Время эксплуатации выработки (сопряжения)	Класс устойчивости пород и руд					
			I	II	III	IV	V	VI
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,2 < η ≤ 0,3	ав < 3	несколько суток	A, НБ	A, НБ	НБ, A	НБ+A, A+C	A+C, M	M, СП
		несколько недель	A, НБ, A+НБ	A, НБ, НБ+A	НБ, A, НБ+A	НБ+A, НБ+A+C	A+C+НБ, M	M, СП
		несколько месяцев	A+НБ	A, НБ, НБ+A	НБ+A	НБ+A+C	НБ+A+C+НБ, M	M, СП
	3 ≤ ав ≤ 5	несколько суток	A, НБ	A, НБ, НБ+A	НБ+A, A+C	НБ+A, A+C	A+C, M	M, СП
		несколько недель	A, НБ, A+НБ	A, НБ, НБ+A	НБ+A, A+C+НБ	НБ+A+C	A+C+НБ, M	M, СП
		несколько месяцев	A+НБ, A+C+НБ	НБ+A, НБ+A+C	НБ+A+C	НБ+A+C+НБ, M	НБ+A+C+НБ, M	M, СП
	сопряжение выработок	несколько суток	A, НБ	A, НБ, НБ+A	НБ+A, A+C	НБ+A, A+C	A+C, M	M, СП
		несколько недель	A, НБ, A+НБ	A, НБ, НБ+A	НБ+A, A+C+НБ	НБ+A+C	A+C+НБ, M	M, СП
		несколько месяцев	A+НБ, A+C+НБ	НБ+A+C	НБ+A+C, M	НБ+A+C+НБ, M	НБ+A+C+НБ, M	M, СП

Условные обозначения: БК – без крепления; А – анкерное крепление; НБ – набрызг-бетон; С – дополнительная затяжка сеткой; М – металлическая арочная податливая; СП – спецаспорт крепления

Значения коэффициента структурного ослабления массива следующие

K_c	Расстояние между трещинами, м
0,9	> 1,5
0,8	1,5 – 1,0
0,6	1,0 – 0,5
0,4	0,5 – 0,2
0,2	< 0,2.

Необходимую длину анкера можно определить из выражения

$$l_a = B + 1,5 l_3 + l_k,$$

где $l_3 = 0,3-0,4$ – глубина заделки анкера в неразрушенном массиве, м; $l_k = 0,08-0,15$ – длина концевой части анкера, выступающего в выработку, м.

Расстояние между анкерами можно определить по формулам:

- в кровле выработки, м

$$L_a^{кр} = \sqrt{\frac{S_a \cdot R_a}{B \cdot \gamma \cdot n}},$$

где S_a – сечение анкера, см²; R_a – предел прочности материала анкера на разрыв, кг/см²; $n = 2-4$ – коэффициент запаса прочности;

- в стенке (боках) выработки, м

$$L_a^{\delta} = \sqrt{\frac{S_a \cdot R_a}{\sigma_d \cdot n}}.$$

Вес породы, приходящийся на один анкер, определяем по формуле, т.

$$Q_a = B \cdot L_a^2 \cdot \gamma.$$

Необходимый диаметр анкера можно определить по формуле, м

$$d_a = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_a}{n \cdot R_a}}$$

В случае использования набрызг-бетонной крепи в качестве самостоятельного типа крепления горной выработки, ее необходимую толщину можно определить из выражения, м

$$v = \sqrt{\frac{0,11 \cdot B \cdot \gamma \cdot a_g \cdot n}{[\sigma_{сж}^{нб}]}}$$

где $[\sigma_{сж}^{нб}]$ – предел прочности набрызг-бетона на одноосное сжатие, кг/см².

При использовании комбинированной крепи (анкера с набрызг-бетоном; анкера с дополнительной затяжкой металлической сеткой и последующим нанесением набрызг-бетона; анкера с дополнительной сварной решетчатой затяжкой или металлической рамной крепью) параметры каждого из указанных видов крепи можно рассчитать по следующим формулам.

Анкера с набрызг-бетоном или анкера с дополнительной затяжкой металлической сеткой и последующим нанесением набрызг-бетона:

- расчет параметров анкерной крепи производится по тем же формулам, но за исключением расстояния между анкерами, которое определяется по формуле, м

$$L'_a = \sqrt{\frac{S_a \cdot R_a \cdot K_{сц}}{B \cdot \gamma \cdot n}}$$

где $K_{сц} = 1,1-1,2$ – коэффициент повышения сцепления породы свода возможного обрушения за счет его скрепления набрызг-бетоном, натяжения металлической сетки или их совместного действия (минимальное значение $K_{сц}$ будет при использовании анкеров с набрызг-бетоном или анкеров с дополнительной затяжкой металлической сеткой, максимальное – при использовании анкерной крепи с дополнительной затяжкой сеткой и нанесением набрызг-бетона);

- необходимую толщину слоя набрызг-бетона определяют по формуле, м

$$v' = \sqrt{\frac{0,11 \cdot n \cdot \gamma \cdot L_a}{[\sigma_{сж}^{нб}]}}$$

При использовании анкеров с дополнительной сварной решетчатой затяжкой ее параметры (расстояние между прутками) определяются из выражения, м

$$X = \frac{2\pi \cdot d_n^2 \cdot \sigma_{pz} \cdot \Delta_{np}}{K_3 \cdot B \cdot \gamma \cdot L_a \cdot \sqrt{1 + 16 \cdot \Delta_{np}^2 \cdot L_a^{-2}}}$$

где $\pi = 3,14$; d_n – диаметр прутков решетчатой затяжки, м; σ_{pz} – предел прочности прутков металлической затяжки на разрыв, кПа; Δ_{np} – допускаемая величина прогиба решетчатой затяжки, м; $K_3 = 2$ – коэффициент запаса.

При использовании комбинированной рамно-анкерной крепи расстояние между рядами анкеров можно определить из выражения, м

$$L_p = \frac{3 \cdot (P_p + N \cdot P_a)}{2 \cdot K_3 \cdot \sqrt{Q_p^2 + Q_a^2}}$$

где P_p, P_a – соответственно, несущая способность одной рамы (арки) и одного анкера, кН; N – количество анкеров в ряду, шт.; Q_p, Q_a – интенсивность нагрузки, приходящаяся, соответственно, на одну раму и один анкер, кН.

Выводы: разработаны рекомендации и предложения по выбору рационального типа крепления горных выработок и их сопряжений в условиях урановых шахт ГП „ВостГОК“, которые учитывают, помимо класса устойчивости горных пород и уровня их напряженного состояния, ширину горной выработки и необходимое (предполагаемое) время ее эксплуатации. Даны рекомендации по определению параметров анкерной, набрызг-бетонной и комбинированной крепи, а также приведены примеры расчетов параметров различных видов крепи для конкретных условий.

Список литературы / References

1. Каспарьян Э.В. Устойчивость горных выработок в скальных породах / Каспарьян Э.В. – Л.: Наука, 1995. – 184 с.
Kasparyan, E.V. (1995), *Ustoychivost gornykh vyrabotok v skalnykh porodakh* [Stability of Excavations in Hard-Rock], Nauka, St. Petersburg, Russia.
2. Еременко А.А. Проведение и крепление горных выработок в удароопасных зонах железорудных месторождений / Еременко А.А., Федоренко А.И., Копытов А.И. – Новосибирск: Доктрина, 2008. – 190 с.
Yeremenko, A.A., Fedorenko, A.I. and Kopytov, A.I. (2008), *Provedeniye i krepelniye gornykh vyrabotok v udaroopasnykh zonakh zhelezorudnykh mestorozhdeniy* [Driving and Fastening of Excavations in Bump Hazardous Zones of Iron-Ore Deposits], Doktrina, Novosibirsk, Russia.
3. Проведение и крепление выработок на железорудных месторождениях, опасных по горным ударам: матер. IV науч.-практ. конф. ИГД СО РАН / А.А. Еременко, В.Н. Филиппов, В.В. Дорогунцов [и др.] // Научно-технологические аспекты добычи и переработки полезных ископаемых – Новосибирск, 2005. – С. 77–81.
Yeremenko, A.A., Filippov, V.N. and Doroguntsov, V.V. (2005), “Driving and fastening of excavations in bump hazardous iron-ore deposits”, *Proc. of the 4th Academic and Research Conf. “Naukoyemkiye tekhnologii dobychi i pererabotki poleznykh iskopayemykh”*, Novosibirsk, pp. 77–81.

4. Калиниченко В.А. Исследование влияния параметров анкерной крепи на высоту выемочных штреков / В.А. Калиниченко, И.А. Горбатенко // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – 2012. – Вип. 95 (1). – С. 183–186.

Kalinichenko, V.A. and Gorbatenko, I.A. (2012), "Study of influence of anchor bolting parameters on the height of extraction drifts", *Hirnyghii Visnyk*, issue 95(1), pp. 183–186.

5. Районирование выработок по способам крепления в условиях Шерегешевского месторождения / А.А. Еременко, В.Н. Филиппов, Е.А. Белоусов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2005. – № 9. – С. 46–57.

Yeremenko, A.A., Filippov, V.N. and Belousov, Ye.A. (2005), "Zoning of excavations by support types in Shegereyevskoye deposit", *Gornyi Informatsyonno-Analiticheskiy Byulleten*, no.9, pp. 46–57.

Мета. Розробка рекомендацій з вибору раціонального типу кріплення гірських виробок і їх сполучень.

Методика. Для розробки рекомендацій використовувалися загальнонаукові та спеціальні методи дослідження: аналіз літературних джерел, метод критичного аналізу й узагальнення теоретичних досліджень; метод системного підходу; метод економіко-математичного моделювання. Забезпечення оперативності й точності розрахунків здійснювалося на ЕОМ у редакторі Windows XP Professional.

Результати. Розроблені рекомендації та пропозиції з вибору раціонального типу кріплення гірських виробок і їх сполучень в умовах уранових шахт ДП „СхідГЗК“, що враховують, окрім класу стійкості гірських порід і рівня їх напруженого стану, ширину гірської виробки та необхідний (передбачуваний) час її експлуатації. Надані рекомендації з визначення параметрів анкерного, набризг-бетонного та комбінованого кріплення, а також наведені приклади розрахунків параметрів різних видів кріплення для конкретних умов.

Наукова новизна. Встановлені нові залежності стійкості гірських порід від рівня їх напруженого стану, відповідного класу стійкості гірських порід, що впливають на розміри гірських виробок і часу їх експлуатації.

Практична значимість. Визначені значення коефіцієнта структурного ослаблення масиву. Запропоновані методики розрахунку необхідної довжини анкера, глибини закладення анкера в незруйнованому масиві, довжини кінцевої частини анкера, що виступає у виробку. Визначена оптимальна відстань між анкерами залежно від перетину анкера, межі міцності матеріалу анкера на розрив, коефіцієнта запасу міцності. Запропонована методика визначення необхідної товщини кріплення від межі міцності набризг-бетону на одноосне стискування в разі використання набризг-бетонного кріплення як самостійного типу кріплення гірської виробки. При використанні комбі-

нованого кріплення (анкера з набризг-бетоном; анкера з додатковим затягуванням металевою сіткою й подальшим нанесенням набризг-бетону; анкера з додатковим зварним ґратчастим затягуванням або металевим рамним кріпленням) параметри кожного із вказаних видів кріплення розраховуються за вдосконаленою методикою.

Ключові слова: кріплення, виробки, сполучення, анкера, уранові шахти

Purpose. Development of recommendations on the choice of rational type of excavation support and its junctions.

Methodology. To develop the recommendations we used the following special and general scientific research methods: analysis of literature, method of critical analysis and synthesis of theoretical studies, system approach; method of economic and mathematical modeling.

Findings. We have developed the recommendations on the choice of rational type of excavation support and its junctions for uranium mines of State-Owned Enterprise SKhIDHZK. It takes into account, not only the stability class of rocks and their level of stress state, but also the width of excavation and its operating life. We gave recommendations for the characterization of the roof bolting, sprayed concrete lining and combined support, and presented the examples of calculations of the parameters for different kinds of support in given conditions.

Originality. We have determined the dependence of the stability of rocks on their stress state level corresponding to the stability class, affecting the size of mine tunnels and their operating life.

Practical value. We have determined the values of the coefficient of structural weakening of the massif. We have suggested the methods for calculating the required length of the anchor; anchor depth of setting into the massif; length the anchor should stand proud from the tunnel wall. We have determined the optimal distance between anchors depending on the section of the anchor, tensile strength of the material of the anchor, and load factor. The method for determining the required thickness of the sprayed concrete lining depending on its tensile strength in uniaxial compression in the case the sprayed concrete lining is separate type of support. When using the combined support (anchor with sprayed concrete, anchor with additional tightening of the metal mesh and the subsequent application of sprayed concrete, anchor with additional welded lattice tightening or metal frame supports) the parameters of each of these types of lining are calculated by the improved method.

Keywords: support, development, junction, anchor, uranium mine

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.М. Кузьменком. Дата надходження рукопису 16.10.13.