

Н.А. Туртыгина, А.В. Охрименко, А.С. Шубрик, С.А. Карачок

МЕТОДИКА ВЫБОРА ТИПА И ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ДЛЯ УСЛОВИЙ ПРЕДЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОГО БЛОЧНОГО МАССИВА

Приведены результаты промышленного эксперимента на руднике «Комсомольский» по выбору типа и параметров крепи горных выработок на основании «Инструкции по выбору типа и параметров крепи капитальных, подготовительных, нарезных и очистных выработок в предельно напряженном (или ослабленном) блочном массиве рудников Талнаха. Рассмотрены вопросы по оценке устойчивости горного массива и выбору крепи, конкретизированы вопросы крепления в сложных горнотехнических и инженерно-геологических условиях. Даны рекомендации по выбору типов и расчету параметров крепей горизонтальных выработок, основные конструктивные и технологические требования к возводимым крепям с учетом изменчивости горно-геологических и горнотехнических условий, осложняющих прогнозирование состояния пород при строительстве выработок.

Ключевые слова: крепь, выработка, показатель, трещиноватость, нарушенность, методика.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-63-69

«В результате отработки части запасов наиболее ценных богатых руд и необходимостью обеспечения металлургических переделов комбината высококачественным рудным сырьем, горные работы постепенно опускаются на большие глубины. При этом увеличивается горное давление, изменяются физико-механические свойства горных пород и ускоренно сокращаются запасы руд с высоким содержанием полезных компонентов. Соответственно, усложняются вопросы вскрытия новых рабочих горизонтов, поддержания устойчивости горных выработок, полноты и качества извлечения полезных ископаемых из недр» [2].

Применяемые в настоящее время на рудниках Талнахского рудного узла рекомендации по креплению горных выра-

боток разработаны с учетом действующих ГОСТов и СНиПов, в основе которых лежит принцип предельных деформаций массива, возникающих на контуре выработки за весь срок их эксплуатации. Горно-техническая обстановка, сложившаяся на рудниках Талнаха с переходом горных работ на глубины более 800–900 м, поставила под сомнение как правомерность существующих представлений о механизмах деформирования приконтурных пород, так и корректность методологических подходов при решении, вопроса поддержания [10].

Существующий подход не всегда обеспечивает безопасные условия эксплуатации горных выработок, проявляющийся в разрушениях крепи и обрушениях в ранее закрепленных горных выра-

ботках, а в некоторых случаях наоборот приводит к завышенным требованиям к креплению горных выработок, что в результате обусловила актуальность разработки способов крепления и поддержания, методик расчета крепи, которые соответствовали бы реальным горно-техническим и геомеханическим условиям эксплуатации выработок, повысив тем самым надежность обеспечения устойчивости.

Инструкция по выбору типа и параметров крепи капитальных, подготовительных, нарезных и очистных выработок в предельно напряженном блочном массиве разработана для применения при проектировании, строительстве и эксплуатации выработок рудников Талнахского рудного узла. В ней рассматриваются вопросы оценки устойчивости горного массива, дается методика выбора крепи, конкретизируются вопросы крепления в сложных горнотехнических и инженерно-геологических условиях.

Основным видом испытаний был принят метод промышленного эксперимента в реальных условиях рудника «Комсомольский». Целью опытно-промышленных испытаний (ОПИ) являлось оценка корректности и эффективности заложенных в Инструкцию положений, методов и указаний при выполнении оценки нарушенности и устойчивости руд и пород, выборе типа и параметров крепи горных выработок в условиях предельно напряженных блочных массивов.

Основными задачами ОПИ являлись: проверка методики рейтинговой оценки состояния массива на основе индекса Q (система Бартон), оценка корректности прогноза нарушенности и устойчивости руд и пород, а также сложности практического использования методики рейтинговой оценки состояния массива сотрудниками рудников, отвечающих за крепление; определение необходимости корректировки параметров индекса Q и

оценка корректности методики выбора и расчета параметров крепей на основе долговременной оценки устойчивости закрепленной выработки заезда на СШ10 1/бис на участке ПУОР № 1.

Опытно-промышленные испытания включали: оценку состояния и прогноз нарушенности массива по результатам обследования выработки; выбор типа и параметров крепи; крепление опытного участка и первичный контроль качества закрепления; визуальные наблюдения за состоянием крепи и контура опытного и контрольных участков; актирование результатов ОПИ и передача участков в промышленные испытания.

Прогноз нарушенности руд и пород выполнялся в соответствие с системой классификации горных пород по показателю индекса Q , который характеризует прочность и степень нарушенности массива. Индекс Q определяют по результатам картирования обнажений массива.

После этого на участке ПУОР № 1 в выработке заезд на СШ10 1/бис определяли степень трещиноватости пород и ее показатели, включающие: количество выделенных систем трещин и наличие крупных (более 1 м) несистемных трещин; описание основных систем трещин и их показателей, включая показатели их пространственной ориентации, показатель RQD , а также частоту трещин.

Порядок определения RQD следующий. На выбранном участке проводят измерения по рулетке или по линиям, нарисованным на поверхности пород. Для этого участок не разрушенной породы, пересекается лентой рулетки или в месте проведения измерения рисует прямая линия. RQD вычисляется как отношение суммарной длины участков длиной более 10 см на общую длину линии замера равной 2 м.

Схема измерений представлена на рис. 1. Для каждого участка проводят 3 измерения по профилям различной

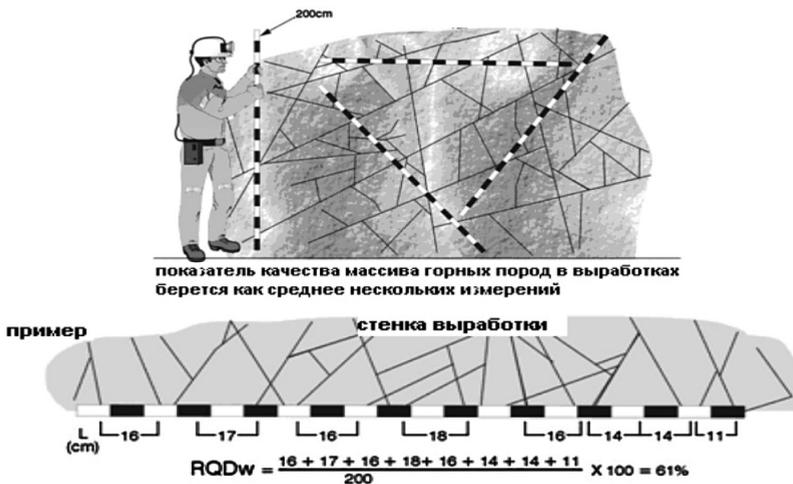


Рис. 1. Определение показателя качества массива горных пород (RQD) и его значения

ориентации. Профиля могут отстраиваться как по забою, так и по бортам выработок. Трещины протяженностью менее чем 1 м, не должны включаться в вычисления RQD, так как трещина может быть создана в результате повреждения массива от взрыва и не оказывает значимого влияния на устойчивость массива горных пород (не достаточно длина). Во избежание влияния трещин, образованных в массиве при взрыве, только трещины — отдельные длиннее 1 м включаются для оценки RQD при линейном картировании. RQD рекомендуется измерять в различных направлениях [4].

В противоположность RQD частота FF сохраняет чувствительность как в очень хорошем массиве (несколько разрушений), так и в сильно разрушенном, раздробленном, сильно блочном массиве. По этой причине частота разрушений определяется и используется в дополнение к RQD.

Также для опытного участка определяли категорию нарушенности массива. Шероховатость трещины определяется по топографии стенок трещин, от малой шкалы шероховатости (замеренной на участке меньше чем 10 см), к большей шкале волнистости (участок замера более чем 1 м).

Метод оценки шероховатости и волн трещин использует простые инструменты такие, как линейка и столярный гребень. Гребень есть набор игл, объединенных в металлической рамке. Надавливая иглы на поверхность горных пород, получаем профиль поверхности. Этот профиль перерисовывается на бумагу или сравнивается с графиком коэффициента шероховатости трещин. Процедура измерения гребнем, представлена на рис. 2.

Другая техника измерений (рис. 3) включает измерения максимальной амплитуды, сформированной между поверхностью трещины и линейкой длиной в 1 м. Это используется для определения волнистости или плоскостности трещин.

Также данные показатели могут быть определены путем прямого измерения

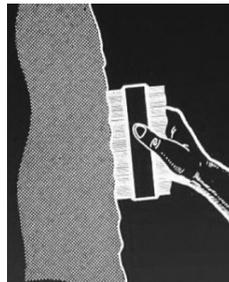


Рис. 2. Процедура измерения гребнем



Рис. 3. Измерение максимальной амплитуды

амплитуды отклонения от условной оси трещины на базе 10 см и 1 м. Показатель измененности трещин определяется путем проведения царапающего теста. Для этого трещина царапается ножом и, при необходимости, ногтем и определяется одно из четырех состояний: поверхность не царапается ножом; поверхность царапается ножом; поверхность царапается ногтем, чувствуется на ощупь скользкая; поверхность может быть вдавлена ногтем, на ощупь скользкая. После выполнения натуральных измерений, полученные исходные данные, были занесены в «Журнал геотехнической оценки» (таблица).

Видимые проявления динамических (шелушение, стреляние, горный удар) и пластических (отжим, пучение, выдавливание) форм горного давления.

Выбор вида крепи выработок производится в соответствии с требованиями п. 2 Инструкции [5], расчет параметров выбранного вида крепи осуществляется на основе рекомендаций, представленных в п. 4. При выборе вида крепей предпочтение следует отдавать наиболее

современным и экономичным видам крепи, в частности: анкерные различных типов, анкерные с сеткой, комбинированная и усиленная комбинированная.

Также выполняется выбор типа и параметров крепи по действующим в настоящее время рекомендациям [3] с целью проверки сходимости результатов. После выполнения работ по оценке нарушения массива и определению вида и параметров крепи рекомендации по видам и параметрам крепи передают на рудник. После этого на руднике на основе переданных рекомендаций разрабатывают паспорт крепления и производят крепление опытных участков, в результате заезд на СШ10 1/бис на участке ПУОР № 1 был закреплен комбинированной крепью (анкерная крепь с набрызг-бетоном).

Выбор типа и параметров крепления заезд на СШ10 1/бис шахты «Комсомольская» рудника «Комсомольский»

- Ширина выработки.
- Назначение выработки — подготовительная.

Журнал геотехнической оценки подземных горных выработок.

Общая характеристика участка

Наименование выработки	Заезд на СШ10 1/бис на участке ПУОР № 1 рудник «Комсомольский»
RQD по выработке, минимум 3 измерения	Принимаются разноориентированные профили. Длина профиля желательно 2 м. В таблицу заносятся все участки с расстоянием между трещинами более 10 см. Например: 12+18+7+33+4+8+18+41+6+22+4+27 = 175 см RQD = 75%
Частота трещиноватости FF	Количество трещин на 1 п.м. выработки, определяется параллельно с измерением RQD
Показатель количества систем трещин	Монолит, трещин нет или случайные трещины; Одна система трещин; Одна система трещин + одна случайная трещина; Две системы трещин; Две системы трещин + одна случайная трещина; Три системы трещин; Три системы трещин + одна случайная трещина; Четыре и более системы трещин, случайная, сильно трещиноватые, сахарный кубик и т.п.; Дробленая порода (щебень), сильно нарушенный перемятый массив
Параметры систем трещин	Азимут, падение, характерный интервал между трещинами
Напряженное состояние	Подработанный массив; анизотропное напряженное состояние

- Тип пород известняк с пределом прочности на одноосное сжатие 79 МПа, роговик с пределом прочности на одноосное сжатие 95,3÷114 МПа.

- RQD определялась по количеству трещин на 2-метровой базе согласно Приложения 2 «Временной инструкции...». RQD = 75.

- J_n – три системы трещин $J_n = 9$.

- По шероховатости трещины классифицируются как шероховатые волнистые расчетное значение $J_r = 2,25$.

- В трещинах присутствует заполнитель, может царапаться ногтем $J_a = 2$.

- J_w = породы сухие принимаем $J_w = 1$.

- Фактор напряженного поля SFR принимаем равным SFR = 1 (выработка находится впереди фронта очистных работ). Таким образом, получены следующие исходные данные для расчета Q-индекса: RQD = 75; $J_n = 9$; $J_r = 2,25$; $J_a = 2$; $J_w = 1$; SFR = 1;

- Расчет Q-индекса: $Q = (RQD/J_n) \times (J_r/J_a) \times (J_w/SFR)$; $Q = (75/9) \times (2,25/2) \times 1/1 = 9,38$

Согласно табл. 2.1 «Временное инструкции...» Q соответствует категории пород IIб. Таким образом, для условий выработки Заезд на СШ10 1/бис принимаем комбинированную крепь по кровле и бокам с сеткой штангования 0,8 × 0,8, глубиной штангования 1,7 м и н/бетон 3 см; отставание штанг – 0,8 м н/бетона – 25 м.

Инструкция является документом, объединяющим существующие инструкции на применяемые виды крепи с учетом совершенствования их конструкций. Введение единых положений и правил крепления выработок позволит принимать правильные решения по креплению и поддержанию горных выработок применительно к конкретным условиям при строительстве и эксплуатации рудников Талнаха [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указания по безопасному ведению горных работ на Талнахском и Октябрьском месторождениях, склонных и опасных по горным ударам. Норильск, Санкт-Петербург, 2015.

2. Туртыгина Н. А., Бабаев Р. Э., Волков Н. А. Совершенствование качества горных работ, в связи с конвергенцией подземных горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 1. – С. 50–57.

3. Рекомендации по креплению и поддержанию разведочных, подготовительных, нарезных и очистных выработок на рудниках «Октябрьский», «Таймырский», «Комсомольский» и «Заполярный» ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель». – Норильск, 2014.

4. РТПП-043-2015 Регламент технологических производственных процессов по возведению крепей на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель». – Норильск, 2015.

5. Временная Инструкции по выбору типа и параметров крепления капитальных, подготовительных и очистных выработок в предельно напряженном (или ослабленном) блочном массиве рудников. ИПКОН РАН (дог. 1-3-16). – М., 2017.

6. Ломоносов Г. Г. Производственные процессы подземной разработки рудных месторождений: монография. – М.: Изд-во «Горная книга», 2013. – 512 с.

7. Туртыгина Н. А. Проектирование рудников: учебное пособие. – Норильск: НИИ, 2014. – 146 с.

8. Васильев С. Д. Обоснование и разработка методики расчета крепления сталеполимерной анкерной крепью горных выработок для условий многолетней мерзлоты: диссертация кандидата технических наук. – М., 2013.

9. Власенко Д. С. Геомеханическое обоснование выбора типа и параметров крепи горных выработок, охраняемых податливыми целиками: диссертация кандидата технических наук. – СПб., 2014.

10. Опарин В. Н., Тапсиев А. П., Розенбаум М. А., Рева В. Н., Бадтиев Б. П., Чанышев А. И. Зональная дезинтеграция горных пород и устойчивость подземных выработок. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 280 с.

11. *Donglas T.N., Arthur L.Y.* A guide to the use of rock reinforcement in underground excavations. Construction Industry Research and Information Association Report. London, 1983, pp. 173–176.

12. *Hock E., Brown E.T.* Empirical strength criterion for rock masses. *J Geotechn. Engng. (ASCE)*, 1980a V 106(GT-9), pp. 1013–1035.

13. *Bieniawski Z.T.* Rock mechanics design in mining and tunneling. Rotterdam: Balkema, 1984.

14. *Tournaise des dimenions oi danneroux pillers des pressirs ouxguelles les terrains sont soumis daus les profoudeurs.* *Ann, miner* 1884, V. 82–84, 1886, VII, pp. 104–109.

15. *Маркшейдерия и недропользование* <http://geomar.ru/>.

16. *Горный журнал* <http://www.rudmet.ru/catalog/journals/1/>. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Туртыгина Наталья Александровна — кандидат технических наук, доцент, Норильский государственный индустриальный институт, e-mail: natyrtigina@mail.ru,

*Охрименко Александр Владимирович*¹ — начальник добычного участка, рудник «Комсомольский»,

*Шубрик Александр Станиславович*¹ — зам. начальника тех. отдела, рудник «Октябрьский»,

*Карачок Степан Александрович*¹ — мастер горный, рудник «Комсомольский»,

¹ ПАО «ГМК «Норильский никель».

ISSN 0236-1493. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018. No. 4, pp. 63–69.

N.A. Turtygina, A.V. Okhrimenko, A.S. Shubrik, S.A. Karachok

SELECTION PROCEDURE OF A SUPPORT DESIGN FOR BLOCK-STRUCTURED ROCK MASS IN CRITICAL STRESS STATE

The article describes the results of a full-scale experiment on selecting a mine support design in Komsomolsky Mine based on the «Guidelines on selecting support design for permanent, temporary and preparatory roadways and stopes in Talnakh mines located in critical-stress (or weakened) block-structured rock mass.» The issues of estimation of rock mass stability and support design selection are discussed, and aspects of mine support and reinforcement in complicated geological and geotechnical conditions are specified. The studies have taken into account the experience of the long-term research and pilot experimentation based on the current provisions and engineering solutions aimed at improvement of the existing types of support and finding new methods to design and install support and its elements.

The recommendations are made on support design for horizontal tunnels together with the basic structural and technological requirements imposed on mine support in view of varying geological and geotechnical conditions, which complicates prediction of state of rock mass during mine construction.

Key words: support, roadway, index, rock jointing, damage, procedure.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-63-69

AUTHORS

Turtygina N.A., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Norilsk State Industrial Institute, 663310, Norilsk, Russia, e-mail: natyrtigina@mail.ru,

*Ochrimenko A.V.*¹, Sectional Manager, Mine «Komsomolsky»,

*Shubrik A.S.*¹, Sub Over-man Technical Manager, Mine «Oktyabrskiy»,

*Karachok S.A.*¹, Mining Master, Mine «Komsomolsky»,

¹ PJSC «MMC «Norilsk Nickel», Norilsk, Russia.

REFERENCES

1. *Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh rabot na Talnakhskom i Oktyabr'skom mestorozhdeniyakh, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram* (Guides on safe mining at rockburst-hazardous Talnakh and Oktyabrsky deposits), Norilsk, Saint-Petersburg, 2015.
2. Turtygina N. A., Babaev R. E., Volkov N. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018, no 1, pp. 50–57.
3. *Rekomendatsii po krepleniyu i podderzhaniyu razvedochnykh, podgotovitel'nykh, nareznykh i ochistnykh vyrabotok na rudnikakh «Oktyabr'skiy», «Taymyrskiy», «Komsomol'skiy» i «Zapolyarnyy» ZF OAO «GMK «Noril'skiy nikel'»* (Guidelines on support and reinforcement of exploratory, temporary and preparatory roadways and stopes in Oktyabrsky, Taimyr, Komsomolsky and Zapolyarny mines of NorNickel's Polar Division), Norilsk, 2014.
4. *Reglament tekhnologicheskikh proizvodstvennykh protsessov po vozvedeniyu krepey na rudnikakh ZF PAO «GMK «Noril'skiy nikel'» RTPP-043-2015* (Regulatory scheduled basis for technological processes of support installation in mines of NorNickel's Polar Division RTPP-043-2015), Norilsk, 2015.
5. *Vremennaya Instruktsii po vyboru tipa i parametrov krepleniya kapital'nykh, podgotovitel'nykh i ochistnykh vyrabotok v predel'no napryazhennom (ili oslablennom) blochnom massive rudnikov* (Interim instruction on support design for permanent and preparatory roadways and stopes in critical-stress (or weakened) block-structure rock mass of underground mines), Moscow, IPKON RAN, 2017.
6. Lomonosov G. G. *Proizvodstvennye protsessy podzemnoy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy, monografiya* (Flow processes in underground ore mining: monograph), Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2013, 512 p.
7. Turtygina N. A. *Proektirovanie rudnikov: uchebnoe posobie* (Underground mine design: Educational aid), Norilsk: NII, 2014, 146 p.
8. Vasil'ev S. D. *Obosnovanie i razrabotka metodiki rascheta krepleniya stalepolimernoy anker-noy krep'yu gornyykh vyrabotok dlya usloviy mnogoletney merzloty* (Substantiation and development of resin polymer-grouted rock bolting design for underground mines in permafrost), Candidate's thesis, Moscow, 2013.
9. Vlasenko D. S. *Geomekhanicheskoe obosnovanie vybora tipa i parametrov krep'i gornyykh vyrabotok, okhranyaemykh podatlivymi tselikami* (Geomechanical validation of the selected support designs for mines with pliable safety pillars), Candidate's thesis, Saint-Petersburg, 2014.
10. Oparin V. N., Tapsiev A. P., Rozenbaum M. A., Reva V. N., Badtiev B. P., Chanyshev A. I. *Zonal'naya dezintegratsiya gornyykh porod i ustoychivost' podzemnykh vyrabotok* (Zonal disintegration of rocks and stability of underground opening), Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2008, 280 p.
11. Douglas T. N., Arthur L. Y. *A guide to the use of rock reinforcement in underground excavations. Construction Industry Research and Information Association Report*. London, 101, 1983, pp. 173–176.
12. Hock E., Brown E. T. Empirical strength criterion for rock masses. *J Geotechn. Engng. (ASCE)*, 1980a V 106(GT-9), pp. 1013–1035.
13. Bieniawski Z. T. *Rock mechanics design in mining and tunneling*. Rotterdam: Balkema, 1984.
14. *Tournaise des dimenions oi danneroux pillers des pressirs ouxguelles les terrains sont soumis daus les profoudeurs*. Ann, miner 1884, V. 82–84, 1886, VII, pp. 104–109.
15. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie* <http://geomar.ru/>.
16. *Gornyy zhurnal* <http://www.rudmet.ru/catalog/journals/1/>.

FIGURES

Fig. 1. RQD index determination and evaluation

Fig. 2. Comb measurement process

Fig. 3. Maximum amplitude measurement

TABLE

Geotechnical audit log of underground mine. General characteristics of the area.

