ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2025;(12):70-90
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.831; 622,2; 622.235 DOI: 10.25018/0236_1493_2025_12_0_70

РАЗРАБОТКА ТИПОВОЙ ИНСТРУКЦИИ ПО КРЕПЛЕНИЮ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ

А.В. Трофимов[1], А.Е. Румянцев[1], М.П. Сергунин[1], В.А. Еременко[2], М.А. Косырева[2]

[1] ООО «Институт Гипроникель», Санкт-Петербург, Россия
[2] Горный институт НИТУ МИСИС, Москва, Россия, e-mail: prof.eremenko@gmail.com

Аннотация: Для горно-геологических и горнотехнических условий освоения с учетом происхождения, состава извлекаемых полезных ископаемых и условий разработки рудных и нерудных месторождений, кроме угольных и соляных, разработана и аннотационно представлена в статье типовая Инструкция по креплению капитальных, подготовительных, нарезных и очистных подземных горных выработок на основе количественной оценки их устойчивости. Показан порядок формирования документа в постановке разделов, позволяющих в работе с ними обеспечить эффективность и безопасность горных работ за счет прогнозируемого снижения уровня травматизма. Оценка устойчивости выработок обеспечивается применением традиционных методов, а также нового метода оценки устойчивости подземных горных выработок, который будет согласовываться с разрабатываемым в 2025 г. проектом Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости подземных горных выработок при разработке рудных и нерудных месторождений». В Инструкцию по выбору типа и параметров крепи подземных горных выработок рекомендуется включать следующие разделы: область применения; основные понятия и определения; основные положения методики выбора вида и параметров крепи; анализ горно-геологических условий проведения выработок и обоснование формы их поперечного сечения; оценка устойчивости подземных горных выработок; выбор типа и параметров крепи; уточнение установленных и определение дополнительных параметров крепей; крепление сопряжений выработок; крепление горных выработок в особых условиях; оценка вероятности разрушения горной выработки; список использованных источников; оглавление и лист визирования.

Ключевые слова: инструкция по креплению горных выработок, подземная горная выработка, крепь, категория устойчивости, качество породного массива, индекс R_m.

Для цитирования: *Трофимов А. В., Румянцев А. Е., Сергунин М. П., Еременко В. А., Косырева М. А.* Разработка типовой инструкции по креплению подземных горных выработок на основе количественной оценки их устойчивости // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 12. – С. 70–90. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_12_0_70.

© А.В. Трофимов, А.Е. Румянцев, М.П. Сергунин, В.А. Еременко, М.А. Косырева. 2025.

A model guidance on ground support for underground mines on the basis of quantitative stability assessment

A.V. Trofimov[1], A.E. Rumyantsev[1], M.P. Sergunin[1], V.A. Eremenko[2], M.A. Kosyreva[2]

[1] Gipronickel Institute, Saint-Petersburg, Russia

[2] NUST MISIS' College of Mining, Moscow, Russia, e-mail: prof.eremenko@gmail.com

Abstract: The article offers a brief description of the developed model guidance on ground support for permanent, development and preparatory roadways and stopes in underground metallic and nonmetallic mines, except for coal and salt mines, with regard to geological and geotechnical conditions, origin and composition of minerals, and mining conditions, on the basis of quantitative assessment of excavation stability. The sequence of compilation of the document is described as a setting of sections qualified to ensure safety and efficiency of mining operations through the forecast reduction of accident rate. Stability of underground excavations is assessed both conventionally and using a new method of stability assessment to be coordinated with the 2025 draft code of Federal Regulations for Stability Control of Underground Openings in Metallic and Nonmetallic Mineral Mining. It is recommended that the model guidance on ground support for underground mines covers the following aspects: range of application; basic concepts and definitions; basic provisions on methods of ground support type selection and design; analysis of geological conditions of roadheading and substantiation of cross-section configuration of roadways; selection of ground support type and design; specification and determination of the selected and additional parameters of mine support systems; ground support for mine junctions; ground support in special situations; assessment of failure probability in mines; reference list; table of contents and an authentication sheet.

Key words: guidance on ground support for underground mines, underground opening, support, stability category, rock mass quality, index R_m.

For citation: Trofimov A. V., Rumyantsev A. E., Sergunin M. P., Eremenko V. A., Kosyreva M. A. A model guidance on ground support for underground mines on the basis of quantitative stability assessment. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(12):70-90. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_12_0_70.

Введение

В Российской Федерации на горнодобывающем предприятии или руднике, который осуществляет подземную добычу руды, действует разработанная специализированной организацией горного профиля Инструкция по креплению подземных горных выработок различного назначения или другой нормативный документ [1—4].

К Инструкции могут прилагаться регламенты. Один — по оценке нарушенности массива горных пород или оценке устойчивости подземных горных выработок [5—8]. Второй — по креплению горных выработок [9].

Изучение материалов, представленных в инструкциях, действующих на предприятиях, позволило выделить ряд существенных недостатков. Например, связанных с оценкой нарушенности массива горных пород или устойчивости выработок. Оценка нарушенности массива подразумевает оценку природных неуправляемых факторов качества породного массива (Rock Quality Designation, *RQD*, системность трещин, шероховатость поверхности стенок трещин

и т.п). Оценка устойчивости подразумевает оценку как природных неуправляемых факторов качества породного массива, так и техногенных горнотехнически управляемых факторов, оказывающих влияние на устойчивость выработок (фактор напряженного состояния Special Resistance Factor *SRF*, ширина пролета выработки, влияние на выработку других выработок, влияние буровзрывных работ — БВР и т.п.). Поэтому правильнее в Инструкции представлять оценку устойчивости горных выработок с выходом на категории устойчивости, а не нарушенность массива, также разделенную на категории.

В России традиционно устойчивость разделяется на категории, в настоящее время на I—IV, согласно СП 69.13330-2012 «Подземные горные выработки», в последующем, с учетом разработки в 2025 г. проекта Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости подземных горных выработок при разработке рудных и нерудных месторождений», рекомендуется разделять на I—V категории устойчивости выработок. Однако, вопреки традиционному подходу, можно прогнозно обойтись вовсе без категорий. Для этого необходима количественная оценка устойчивости, например, по индексу (предложенному рейтинговой системой), имеющему диапазон значений: Rock Quality Index Q = = 0,001÷1000; Rock Mass Rating RMR = = 0÷100; Geological Strength Index GSI = = 0÷100; Rock Mining Index R_m = 0÷1 и др. [3, 10, 11].

Оценка проводится с определением индекса, в диапазонах которого далее рекомендуется вид, тип и параметры крепления или систем крепления выработок.

Предлагаем избавиться также и от завышенного объема информации, представленной в инструкциях, которая воспринимается персоналом рудников с большим трудом, или вообще никак не воспринимается, тогда ею никто не пользуется и она существует «для порядка». В настоящее время объем Инструкции, разработанной в ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», уменьшен на треть при сохранении ее структуры и необходимой информации.

Инструкция должна быть короткой, лаконичной и предельно понятной, включать расчетные формулы и учитывать наиболее значимые факторы, влияющие на устойчивость. В таком случае персоналу будет легко с ней работать, что позволит обеспечить безопасность и повысить эффективность горных работ.

Исходя из наработанного соавторами статьи опыта [1, 2] представлен порядок разработки типовой Инструкции по креплению капитальных, подготовительных, нарезных и очистных подземных горных выработок на основе количественной оценки их устойчивости.

Разделы типовой инструкции

Инструкция по выбору типа и параметров крепи подземных горных выработок включает следующие типовые разделы: 1) область применения; 2) основные понятия и определения; 3) основные положения методики выбора вида и параметров крепи; 4) анализ горно-геологических условий проведения выработок и обоснование формы их поперечного сечения; 5) оценка устойчивости подземных горных выработок; 6) выбор типа и параметров крепи; 7) уточнение установленных и определение дополнительных параметров крепей; 8) крепление сопряжений выработок; 9) крепление горных выработок в особых условиях; 10) оценка вероятности разрушения горной выработки; 11) список использованных источников; оглавление и лист визирования.

Первый раздел Инструкции — это область применения. Данный раздел включает:

- Назначение, или цель Инструкции: необходимо установить единые требования к креплению подземных горных выработок на основе количественной оценки их устойчивости;
- Область применения Инструкции: необходимо ограничить применение крепи по горно-геологическим, горнотехническим, удароопасным и другим условиям;
- Правовые основания разработки: необходимо указать законодательство, нормативные и методические документы, национальные стандарты Российской Федерации;
- Порядок применения Инструкции: необходимо установить подразделение или работника, ответственного за исполнение положений Инструкции, а также ответственность структурных подразделений за неисполнение Инструкции.

Второй раздел Инструкции — это основные понятия и определения. В данном разделе представлен достаточный Глоссарий основных понятий и определений, который формируется в необходимом объеме на руднике, изложенный в алфавитном порядке.

Третий раздел Инструкции содержит основные положения методики выбора вида и параметров крепи. В данном разделе представлен последовательный порядок выбора вида крепи и ее параметров.

В тексте раздела также констатируется:

- выбор крепи и обоснование ее параметров для сопряжений выработок для всех типов обнажений, характеризующихся взаимным влиянием, увеличенными пролетами и наличием зон высоких напряжений, ведется аналогично протяженным выработкам, но с учетом конфигураций сопряжений, соотношений пролетов и углов пересекающихся выработок путем использования расчетных пролетов обнажений сопряжения (информация представлена в девятом разделе);
- крепление выработок, проводимых в особых условиях — зонах тектонических нарушений или в условиях динамических форм проявлений горного давления; проводится с использованием тяжелых видов крепей: проколотов, с упрочнением массива укрепляющими растворами, податливых металлических рамных, бетонных крепей с узлами податливости. Расчет и обоснование параметров крепей в данном случае ведется с использованием специальных проектов и методик (информация представлена в десятом разделе).

Далее в разделе представлена информация о порядке составления паспортов крепления:

- паспорт крепления и управления кровлей должен определять для каждой выработки, сопряжения и очистного пространства способы крепления, последовательность производства работ;
- паспорта составляются в соответствии с требованиями «Федеральных норм и правил ... »;
- паспорта крепления и управления кровлей должны определять для каждой горной выработки и их сопряжений меры безопасного производства работ, тип крепи, способы и последовательность крепления;
- паспорта должны составляться с учетом назначения, конкретных горно-геологических и горнотехнических условий проходки выработок и их срока службы;
- паспорта составляются начальником участка для каждой выработки и утверждаются техническим руководителем объекта;

• допускается разработка и утверждение паспортов подрядными организациями, ведущими горные работы (крепление горных выработок) на территории объекта подземных горных работ, на основании оформленного акта-допуска по согласованию с техническим руководителем объекта;

• при изменении горно-геологических и горнотехнических условий в горной выработке работы в ней должны быть остановлены до пересмотра (внесения изменений) паспорта крепления и управления кровлей;

• оригиналы паспортов должны храниться у технического руководителя объекта. Копии паспортов должны храниться у начальника участка и в помещениях выдачи наряда;

• рабочие, бригадиры (звеньевые), занятые на работах по возведению крепи, лица технического надзора, осуществляющие руководство этими работами, а также работники, ведущие взрывные работы, до начала производства работ должны быть ознакомлены с паспортами под роспись.

Составление паспортов крепления можно представить в виде самостоятельного раздела или приложения к Инструкции.

Ниже в разделе детализированно, в обязательном порядке представляется, что должен содержать графический материал паспорта; паспорт сопровождается пояснительной запиской.

Важно также отметить:

• крепление горных выработок и их сопряжений должно выполняться своевременно в соответствии с проектной документацией, технологическими регламентами, паспортами крепления и управления кровлей;

• горная крепь должна обеспечить рабочее состояние горных выработок и безопасную работу в них в течение всего срока их эксплуатации;

• при изменении горно-геологических условий на объектах добычи полезных ископаемых подземным способом, предусмотренных проектной документацией, форма поперечного сечения, тип и параметры крепи горных выработок и их сопряжений должны выбираться на основании фактической горно-геологической обстановки, классификации горных выработок по устойчивости с учетом разработанного эксплуатирующей организацией совместно со специализированными организациями (институтами) положения по креплению и поддержанию горных выработок, которое должно утверждаться техническим руководителем организации;

• в условиях тектонических нарушений, имеющих зону раздробленных горных пород и руд, проходку горных выработок рекомендуется осуществлять с проведением специальных мероприятий (смолоинъекционное упрочнение горного массива, опережающее возведение анкерной крепи, применение жестких или податливых оградительных крепей и т.д.).

Представляются регламенты, в соответствии с требованиями которых определяется технология возведения крепей и контроль качества ее возведения, указывается допустимый угол наклона анкерной крепи по направлению проходки выработки к ее продольной оси, как правило, от 60 до 90°.

Обязанности технического руководителя объекта:

• принятие решения (в обязательном порядке) по выбору способов поддержания, вида крепи, параметров крепи горных выработок, исходя из конкретных горно-геологических условий и горнотехнической ситуации, при этом горная крепь должна обеспечивать поддержание выработок в рабочем и безопасном состоянии в течение всего срока их службы;

• принятие решения (в зависимости от ситуации) по усилению вида крепи, параметров крепи (переход на более жесткие виды крепления, уменьшение сетки и увеличение глубины анкерования, нанесение набрызг-бетонного покрытия или увеличение его толщины, дополнительное возведение решетки).

Четвертый раздел Инструкции — это анализ горно-геологических условий проведения выработок и обоснование формы их поперечного сечения, последовательность которого была представлена в Разделе 3.

В данном разделе рассматривается порядок проведения анализа горно-геологических условий с целью выбора по трассе выработок участков массива с характерными условиями и прочностными и деформационными свойствами пород для определения типа и параметров крепи.

Оценка массива на характерных участках должна содержать данные по типу и составу пересекаемых проектируемой выработкой пород, строению массива (по элементам залегания, тектонической нарушенности, порядку и размеру структурных блоков, ожидаемой мощности ослабленных, измененных пород в зонах геологических нарушений, числу и ориентировке в пространстве систем трещин, плотности трещин, их раскрытию, степени заполнения, типу минерала-заполнителя, рельефу стенок), а также характеристику физико-механических свойств пород, содержащую значения среднего объемного веса пород, пределов прочности при сжатии и растяжении в «куске», угол внутреннего трения, коэффициенты снижения прочности породы при увлажнении и нарушенности трещинами. Объем информации по свойствам вмещающих будущую выработку пород должен быть достаточным для применения используемой на предприятии методики оценки устойчивости выработки с выбранным типом крепи.

В разделе также приводится порядок определения категорий нарушенности массива или категорий устойчивости выработок. Представляется одна или несколько из апробированных систем оценки. Например, в ЗФ ПАО «ГМК “Норильский никель”» проводят оценку нарушенности массива горных пород по индексу Q.

В Горном институте НИТУ МИСИС разработаны «Методические рекомендации по оценке устойчивости горных выработок в условиях разработки рудных и нерудных месторождений» (кроме соляных и угольных месторождений), которые определяют I — V категории устойчивости подземных горных выработок различного назначения, количественные параметры устойчивости выработки по индексу R_m, методику расчета вероятностей разрушения горных выработок на основе определения их временной устойчивости с оценкой рисков обрушения и рекомендации по креплению.

Определение категории устойчивости выработок производится расчетом числового значения индекса R_m [5] по следующей формуле:

$$R_m = R'_m \cdot K_{VT24} \cdot K_{VT27} \cdot K_{VT28},$$

$$R'_m = \frac{\sum_i \left(R_{mp_i} \cdot K_{VP_i}\right) + \sum_i \left(R_{mt_i} \cdot K_{VT_i}\right)}{\sum_i K_{VP_i} + \sum_i K_{VT_i}},$$

(R_{mt24}, R_{mt27}, R_{mt28}, в расчет R'_m не входят),

где R'_m — базовый индекс устойчивости подземной горной выработки, который не учитывает факторов техногенного влияния на устойчивость выработки ширины ее пролета, на выработку других выработок и способа проведения выработки; R_{mpi} — индекс природного

неуправляемого влияния на устойчивость горной выработки отдельного параметра, показателя или фактора; R_{mti} — индекс техногенного горнотехнически управляемого влияния на устойчивость горной выработки отдельного параметра, показателя или фактора; K_{VPi} — коэффициент влияния K_{VPi} природных неуправляемых параметров, показателей или факторов; K_{VTi} — коэффициент влияния K_{VTi} техногенных горнотехнически управляемых параметров, показателей или факторов; K_{VT24} — коэффициент влияния на устойчивость выработки ширины ее пролета по индексу R_{mt24}; K_{VT27} — коэффициент влияния на устойчивость выработки других выработок по индексу R_{mt27}; K_{VT28} — коэффициент влияния на устойчивость выработки способа ее проведения по индексу R_{mt28}; i — порядковый номер индекса.

Числовое значение индекса R_m при необходимости можно рассчитывать на основе использования параметров, показателей и факторов, входящих в расчет индекса Q [3, 10, 11] по формуле

$$R_m = R'_m \cdot K_{VT24} \cdot K_{VT27} \cdot K_{VT28} =$$

$$= \frac{R_{mp_1} \cdot K_{VP_1} + R_{mp_4} \cdot K_{VP_4} + R_{mp_{17}} \cdot K_{VP_{17}} + R_{mp_{18}} \cdot K_{VP_{18}} + R_{mp_{19}} \cdot K_{VP_{19}} + R_{mp_{20}} \cdot K_{VP_{20}} + R_{mt_{26}} \cdot K_{VT_{26}}}{K_{VP_1} + K_{VP_4} + K_{VP_{17}} + K_{VP_{18}} + K_{VP_{19}} + K_{VP_{20}} + K_{VP_{26}}} \cdot$$

$$\cdot K_{VT_{24}} \cdot K_{VT_{27}} \cdot K_{VT_{28}}$$

где R_{mp1} — индекс, учитывающий прочность горной породы на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$; R_{mp4} — индекс, учитывающий качество породного массива *RQD*; R_{mp17} — индекс, учитывающий показатель количества систем трещин J_n; R_{mp18} — индекс, учитывающий показатель шероховатости поверхности стенок трещин J_r; R_{mp19} — индекс, учитывающий показатель измененности выветрелости трещин J_a; R_{mp20} — индекс, учитывающий показатель присутствия воды в трещинах J_w; R_{mt26} — индекс, учитывающий фактор напряженного состояния массива *SRF*.

Формулы к расчету зависимости индекса Q от индекса R_m:

$$R_m = 0{,}0721 \cdot \ln(Q) + 0{,}4952,\ Q = 0{,}001e^{13{,}864 \cdot Rm}.$$

В четвертом разделе также приводится обоснование формы и поперечного сечения выработок. Форма сечений капитальных и подготовительных выработок принимается в зависимости от устойчивости и структурных особенностей массива пород вокруг выработки и типа крепи. Пример: при проходке выработок в породах I—III категорий устойчивости может приниматься прямоугольно-сводчатая форма сечения выработок (стены вертикальные, свод коробовый трехцентровый с отношением высоты свода к ширине выработки, равным 1/4 ($\sigma_{сж}$ > 120 МПа) или 1/3 ($\sigma_{сж}$ < 120 МПа). При проходке выработок IV категории устойчивости и креплении их комбинированной крепью принимается прямоугольно-сводчатая форма сечения выработок (стены вертикальные, свод коробовый), с отношением высоты свода к ширине выработки, равным 1/3. При использовании металлической арочной податливой крепи в выработках IV категории устойчивости принимается прямоугольно-сводчатая или арочная форма сечения. В условиях проявления горного давления форма сечения может быть полигональной.

Пятый раздел Инструкции содержит оценку устойчивости подземных горных выработок. Для примера представлен порядок оценки устойчивости подземных

горных выработок по индексу R_m [5]. Индекс R_m применяется для количественной оценки устойчивости подземных горных выработок при разработке рудных и нерудных месторождений, кроме соляных и угольных. Методика определения индекса R_m может быть представлена в Регламенте по оценке устойчивости подземных горных выработок на действующем предприятии.

Диапазон оценки индекса R_m изменяется от 0 до 1, что соответствует пяти категориям устойчивости подземных горных выработок (табл. 1). По значению индекса R_m выбирается категория устойчивости выработки, согласно которой в следующем разделе определяются тип и параметры крепи.

Факторы, определяющие устойчивость подземных горных выработок, допустимые типы и параметры крепи классифицируются на шесть групп (табл. 2), включающих природные (неуправляемые) и техногенные (горнотехнически управляемые).

К природным управляемым факторам относятся группы: физико-механические свойства горных пород; качество породного массива и состояние трещиноватости.

К природным факторам, определяющим естественное состояние массива горных пород, относятся:

- пространственная ориентация, частота, протяженность основных систем трещин в массиве, характеристики сопротивления сдвигу по поверхностям ослабления;
- наличие крупных тектонических нарушений;
- обводненность массива;
- склонность пород к выветриванию;
- температурный режим;
- физико-механические свойства;
- глубина заложения выработок;
- характер природного напряженного состояния массива.

Перечень природных факторов (возможные схемы деформирования или разрушения приконтурного массива) опре-

Таблица 1

Категории устойчивости подземных горных выработок по индексу R_m
Stope stability categories by the index R_m

Диапазон индекса R_m	Категория устойчивости	Оценка состояния устойчивости	Характеристика состояния устойчивости
1÷0,8	I	очень устойчивое	деформации и смещения отсутствуют, массив сохраняет целостность
0,8÷0,6	II	устойчивое	локальные нарушения, затухающие деформации; начальная стадия формирования зоны неупругих деформаций; деформации пород носят затухающий характер
0,6÷0,4	III	средне-устойчивое	распространение нарушений пород вглубь массива; развитие зон неупругих деформаций, возможны локальные обрушения в ослабленных зонах
0,4÷0,2	IV	неустойчивое	значительные смещения контура выработки, слабозатухающие деформации
0,2÷0	V	очень неустойчивое	критическое развитие зон разрушения, незатухающие деформации; смещения свободного (или при малом отпоре крепи) контура выработки носят слабозатухающий и незатухающий характер

деляется для каждого месторождения и должен быть установлен в проектной документации на пользование участком недр. Перечень факторов может уточняться в процессе эксплуатации месторождения (участка недр).

К техногенным горнотехнически управляемым факторам относятся группы: геометрические параметры выработки и ориентации трещин; горное давление и способ проведения выработки.

К техногенным горнотехнически управляемым факторам, определяющим категорию устойчивости выработок, относятся:

- форма и параметры (размеры) выработок;
- взаимное расположение выработок;
- назначение и срок службы выработок;
- направления проходки выработок;
- способы проведения и обеспечения устойчивости выработок;
- тип применяемых крепей и их характеристики;
- способ управления состоянием массива (горным давлением) при ведении очистных работ, очередность и порядок отработки запасов.

Все факторы взаимосвязаны и в разной степени влияют на устойчивость горных выработок, их вес учитывается через коэффициенты влияния K_{VPi} и K_{VTi}, которые представлены в табл. 2. Совокупное воздействие факторов на устойчивость подземных горных выработок выражается индексом R_m.

Базовый индекс R'_m может рассчитываться как по одному выбранному параметру, показателю или фактору из каждой группы, так и по нескольким параметрам из каждой группы.

Разрешается включать в расчеты (это требует обоснования специализированной организацией) дополнительные природные неуправляемые и техногенные горнотехнически управляемые факторы при условии классификации каждого из них на I — V категории устойчивости выработок с представленными диапазонами значений индекса R_m и параметров новых индексов R_{mpi}/R_{mti} с определением значений их весовых коэффициентов K_{VPi}/K_{VTi} в общей системе оценки согласно данным, представленным в табл. 2.

Оценка устойчивости вертикальной выработки по базовому индексу R'_m рассчитывается по аналогии с горизонтальными и наклонными выработками, как по одному выбранному параметру, показателю или фактору из каждой группы, так и по нескольким параметрам из

Таблица 2

Параметры, показатели или факторы в рейтинговой системе оценки устойчивости подземных горных выработок по индексу R_m
Parameters, indexes and factors included in stope stability assessment by the index R_m

Название группы	Параметр, показатель или фактор	Индекс природного неуправляемого влияния на устойчивость горной выработки отдельного параметра, показателя или фактора R_{mpi}	Коэффициент влияния K_{VPi} природных неуправляемых параметров, показателей или факторов
1	2	3	4

1	2	3	4
1. Физико-механические свойства горных пород	Прочность горной породы на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$ в образце, МПа	R_{mp1}	0,12
	Сцепление в массиве *C*, МПа	R_{mp2}	0,1
	Угол внутреннего трения в массиве φ, град.	R_{mp3}	0,1
2. Качество породного массива	Показатель качества породного массива *RQD*, %	R_{mp4}	0,09
	Модуль трещиноватости частота трещиноватости *FF*, тр./м	R_{mp5}	0,06
	Модуль кусковатости, кс/пог. м	R_{mp6}	0,04
	Выход керна, %	R_{mp7}	0,02
	Коэффициент структурного ослабления $K_{с.о}$	R_{mp8}	0,04
	Геологический индекс прочности *GSI*	R_{mp9}	0,06
3. Состояние трещиноватости	Расстояние между трещинами J_{A3}, мм	R_{mp10}	0,03
	Шероховатость поверхности стенок трещин J_{A41}	R_{mp11}	0,02
	Длина трещин J_{A42}, м	R_{mp12}	0,02
	Раскрытие трещин J_{A43}, мм	R_{mp13}	0,03
	Заполнитель трещин J_{A44}, мм	R_{mp14}	0,02
	Измененность стенок трещин J_{A45}	R_{mp15}	0,02
	Обводненность пород выработки J_{A5}	R_{mp16}	0,02
	Показатель количества систем трещин J_n	R_{mp17}	0,01
	Показатель шероховатости поверхности стенок трещин J_r	R_{mp18}	0,01
	Показатель измененности выветрелости трещин J_a	R_{mp19}	0,01
	Показатель присутствия воды в трещинах J_w	R_{mp20}	0,02
4. Геометрия выработки и ориентации трещин	Влияние ориентации трещин на устойчивость выработки J_B	R_{mt21}	0,03
	k_α — коэффициент влияния угла залегания пород и направления проходки выработки относительно простирания пород или основных плоскостей трещиноватости	R_{mt22}	0,03
	k_θ — коэффициент направления смещения пород со стороны кровли и почвы выработки или со стороны боков выработки	R_{mt23}	0,02
	Фактор, учитывающий пролет выработки *b*, м	R_{mt24}	
	Фактор, учитывающий угол падения плоскости обнажения выработки, град	R_{mt25}	0,02
5. Горное давление	Фактор напряженного состояния массива $\sigma_{сж}/\sigma_{max}$	R_{mt26}	0,06
	Фактор, учитывающий воздействия на выработку других выработок	R_{mt27}	
6. Способ проведения выработки	Фактор, учитывающий способ проведения выработки	R_{mt28}	
Суммарный коэффициент влияния K_V			1

каждой группы. При определении фактора, учитывающего ширину пролета вертикальной выработки (индекс R_{mt24}) через коэффициент K_{VT24}, за ширину пролета выработки b в расчетах нужно принимать диаметр вертикальной выработки $d_{вв}$.

Минимальный набор для оценки устойчивости подземной горной выработки или ее участка по индексу R_m в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях рудника включает 9 ключевых параметров:

- R_{mp1} — прочность горной породы на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$ в образце, МПа (K_{VP1} = 0,12);
- R_{mp4} — показатель качества породного массива *RQD*, % (K_{VP4} = 0,09);
- R_{mp11} — показатель шероховатости поверхности стенок трещин J_{A41} (K_{VP11} = = 0,02);
- R_{mp14} — показатель заполнителя трещин J_{A44} (K_{VP14} = 0,02);
- R_{mp20} — показатель присутствия воды в трещинах J_w (K_{VP20} = 0,02) или R_{mp16} — показатель обводненности пород выработки J_{A5} (K_{VP16} = 0,02);
- R_{mt21} — влияние ориентации трещин на устойчивость выработки J_B (K_{VT21} = 0,03) или R_{mt22} — k_α — коэффициент влияния угла залегания пород и направления проходки выработки относительно простирания пород или основных плоскостей трещиноватости (K_{VT21} = = 0,03);
- R_{mt24} — фактор, учитывающий ширину пролета выработки b через коэффициент *K*VT24), м;
- R_{mt27} — фактор, учитывающий воздействие на выработку других выработок через коэффициент K_{VT27});
- R_{mt28} — фактор, учитывающий способ проведения выработки через коэффициент K_{VT28}).

Максимальный набор параметров, показателей или факторов при проведении оценки может состоять из большего количества (от 10 до 28) параметров, показателей или факторов.

При оценке устойчивости выработки в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях (IV — V категории устойчивости выработок, выработки, проводимые и поддерживаемые на глубине свыше 1000 м, выявленные опасные участки развития критических деформаций, динамических и газодинамических явлений) необходимо добавить в расчеты фактор напряженного состояния массива по индексу R_{mt26}).

При оценке устойчивости конкретно вертикального, горизонтального или наклонного обнажения выработки необходимо ввести в расчеты фактор, который учитывает угол падения плоскости обнажения выработки (R_{mt25}).

Шестой раздел Инструкции посвящен выбору типа и параметров крепи выработок. В разделе констатируется:

- тип крепи следует принимать в зависимости от категории устойчивости выработки (см. табл. 1) для выработок, пройденных, например, по осадочным, магматическим или метаморфическим породам, в закладочном массиве или бутобетоне с полным или частичным обнажением очистных выработок; глубину анкерования сопряжений горных выработок следует принимать в зависимости от ширины пролета выработки. При выборе крепей предпочтение следует отдавать наиболее современным и эффективным видам: анкерным различных типов, анкерным с сеткой или с армокаркасами, комбинированным и усиленным конструкциям. В данном разделе информация представляется в формате справочных таблиц под следующими названиями: «Параметры крепи в зависимости от категории устойчивости выработки»; «Параметры крепи выработок, проводимых в закладочном массиве или бутобетоне с полным или

Таблица 3

Параметры крепи для II категории устойчивости выработки* (пример)
Support system design for stopes of stability category II* (example)

Состояние устойчивости	Категория устойчивости	Индекс R_m	Тип и параметры крепи			
			временная крепь, м	**отставание временной крепи, м**	**постоянная крепь, м**	**отставание постоянной крепи, м**
Устойчивое	II	0,8÷0,7	Без крепления	—	1. СПА, ПА, ФА, ГРА, АКц длиной и с шагом по таблице 1,1×1,1 м по кровле. Торкрет-бетон (набрызг-бетон) толщиной не менее 0,03 м по кровле	30,0
		0,7÷0,6	1. СПА, ПА, ФА, ГРА длиной и с шагом 1,0×1,0 по кровле	шаг анкерования	1. СПА, ПА, ФА, ГРА длиной и с шагом 1,0×1,0 м по кровле. Торкрет-бетон (набрызг-бетон) толщиной не менее 0,03÷0,04 м по кровле и бокам	Торкрет-бетон (набрызг-бетон) — 25,0 (30,0)*
			2. АКц длиной 1,8÷2,1 м с шагом 0,8×0,8÷0,9×0,9 м по кровле	0,8 — 0,9	2. АКц длиной 1,8÷2,1 м и с шагом 0,8×0,8÷0,9×0,9 м по кровле. Торкрет-бетон (набрызг-бетон) толщиной не менее 0,03÷0,04 м по кровле и бокам	

Примечание. Виды и параметры крепи, используемые для крепления горных выработок, выбраны на основании проведенных опытно-промышленных испытаний ОПИ.
(30,0)* — отставание постоянного вида крепи для капитальных горных выработок;
1. Нарезные выработки со сроком службы менее 6 месяцев поддерживаются анкерной крепью по кровле или торкрет-бетоном (набрызг-бетоном) по кровле и бокам. Параметры анкерной и торкрет-бетонной крепи нужно выбирать согласно столбцу «Временная крепь» в зависимости от категории устойчивости выработки.
2. При остановке работ по проходке нарезной выработки более чем на 6 месяцев выработка должна быть закреплена постоянной крепью в зависимости от категории устойчивости.
3. Фрикционные анкеры (ФА) типа АТФ, ГРА, СЗА или их аналоги использовать в выработках со сроком службы менее 6 месяцев и более при условии, что капитальные выработки крепят ФА как временной крепью, а при полном омоноличивании армокаркасов набрызг-бетоном — как постоянной крепью.
4. При остановке работ по проходке более чем на 5,0 сут выработка должна быть закреплена постоянной крепью до «груди» забоя.
5. При проведении выработок встречными забоями на момент сбойки остановленная выработка должна быть закреплена до забоя.
6. При креплении боков горной выработки расстояние от почвы до нижних анкеров принимать 1,8 м с нанесением на данных участках набрызг-бетона (фибробетона) согласно категории устойчивости с параметрами временной и постоянной крепи.

частичным обнажением»; «Способы поддержания, виды и параметры крепи очистных выработок»; «Глубина анкерования сопряжений горных выработок»; «Виды, типы и параметры крепи восстающих выработок, например для условий ЗФ ПАО «ГМК “Норильский никель”», сечением до 7 м^2»; «Виды, типы и параметры крепи восстающих выработок сечением 7 ÷ 14 м^2»;

• в сложных горно-геологических условиях, в условиях повышенного горного давления, обильного притока воды, повышенной трещиноватости пород, на сопряжениях выработок параметры крепления могут заверяться с учетом проведения геотехнической оценки состояния массива с использованием апробированных в Российской Федерации специализированных компьютерных программ.

Рекомендуется добавить информацию:

• бурение шпуров под анкерную крепь при помощи ручных (телескопных) перфораторов и самоходных буровых установок, установку анкеров необходимо производить под защитой временной предохранительной крепи, конструкция которой определяется паспортом крепления и управления кровлей;

• при использовании анкерной крепи в качестве предохранительной установленный анкер должен обеспечивать несущую способность сразу после установки. Количество анкеров предохранительной крепи определяется паспортом крепления и управления кровлей, но требуется не менее одного на 2,0 м^2 обнаженной поверхности кровли.

В качестве примера в табл. 3 представлены параметры крепи для II категории устойчивости выработки.

Седьмой раздел Инструкции посвящен уточнению установленных и определению дополнительных параметров крепления. В разделе констатируется, что все типы крепи и их параметры при необходимости могут уточняться в соответствии с рекомендациями, представленными в разделах 1—6 Параметры крепления могут уточняться с использованием апробированных в Российской Федерации специализированных компьютерных программ или современных методов проектирования параметров крепи на основе классификаций рейтинговой оценки качества породного массива или устойчивости выработок [12, 13].

Далее в разделе представлены смещения незакрепленного контура подземной горной выработки с учетом ширины ее пролета, которые рассчитываются для каждой категории устойчивости с помощью полиноминальных зависимостей, например, по индексу R_m:

I категория (R_m = 0,8—1):

$$U = 0{,}1553 \cdot B^2 - 0{,}2235 \cdot B + 0{,}75, \text{ мм};$$

II категория (R_m = 0,6—0,8):

$$U = 1{,}0076 \cdot B^2 - 6{,}0894 \cdot B + 24{,}5, \text{ мм};$$

III категория (R_m = 0,4—0,6):

$$U = 1{,}1894 \cdot B^2 - 5{,}69318 \cdot B + 79{,}633, \text{ мм};$$

IV категория (R_m = 0,2—0,4):

$$U = 1{,}3636 \cdot B^2 - 6{,}8667 \cdot B + 155{,}27, \text{ мм};$$

V категория (R_m = 0—0,2):

$$U = 10{,}686 \cdot B^2 - 34{,}6839 \cdot B + 444{,}82, \text{ мм}.$$

Можно также для индекса устойчивости в диапазоне R_m = 0—1 в табличной форме представить смещения свободного от крепи контура подземной горной выработки и время ее устойчивого стояния без крепления в зависимости от ширины пролета выработки. На ос-

нове проведения опытно-промышленных испытаний и тестирования смещений контуров подземных горных выработок на действующем руднике формулы могут уточняться для конкретных горно-геологических условий.

Метод оценки устойчивости подземных горных выработок по индексу R_m разрабатывался в период 2009—2025 гг. на основе более 800 проведенных экспериментов в натурных условиях на рудниках России, ближнего и дальнего зарубежья.

В настоящее время проводятся опытные работы на рудниках компаний «Норильский никель», АЛРОСА, «Полиметалл», «Евраз», Быстринская горная компания, «Альянс Алтын» (Киргизия) и др.

С учетом рассчитанной величины максимального смещения U свободного от крепи контура подземной горной выработки, а также ширины ее пролета и коэффициента соотношения K_{cRm} прогнозно рекомендуется тип крепи согласно характеристикам, представленным в табл. 4.

Коэффициент соотношения K_{cRm} индекса R_m к базовому индексу R'_m определяется по формуле (табл. 5)

$$K_{cRm} = 1 - R_m / (R'_m).$$

Коэффициент соотношения K_{cRm} определяет степень техногенного влияния на устойчивость выработки ее ширины (пролета), других выработок и способа проведения, что определяет выбор типа крепи. При низких значениях K_{cRm} применяются облегченные типы крепи, при высоких значениях требуется усиление крепи в соответствии с табл. 5.

В седьмом разделе представляется формула для расчета высоты свода возможного обрушения подземной горной выработки:

$$h(0) = 0{,}34\ (B/R'_m) \cdot K_{тв},\ м,$$

где $K_{тв}$ — коэффициент типа горной выработки. $K_{тв}$ принимается в зависимости от вида выработки:

- сопряжение выработок $K_{тв} = 1{,}4$;
- горно-капитальная $K_{тв} = 1{,}17$;
- подготовительная $K_{тв} = 1$;
- нарезная или очистная $K_{тв} = 0{,}93$.

Можно также для базового индекса устойчивости в диапазоне $R'_m = 0—1$ в табличной форме представить результаты расчетов высоты свода возможного обрушения подземной горной выработки при различных ее ширине (пролете) и значениях базового индекса R'_m.

При расчете глубины зоны нарушенности пород в боках вертикальной выработки используется та же формула с представленными выше коэффициентами типа горной выработки; для вертикального ствола используется та же формула с коэффициентом типа горной выработки для ствола $K_{тв} = 1{,}75$. Уточнять устойчивость вертикальной выработки по базовому индексу R'_m можно с использованием в расчетах фактора, учитывающего угол падения плоскости обнажения выработки (индекса R_{mt25}).

Далее в седьмом разделе представляются формулы для расчетов: длины анкеров в кровле выработки с учетом угла их установки (данная длина зависит от высоты свода возможного обрушения пород, длины замковой и выступающей частей анкера); длины анкеров в стенках выработки (зависит от ширины призм сползания); ширины призмы сползания; длины замковой части анкера из условий сцепления скрепляющего материала со стержнем анкера и сцепления скрепляющего материала с породой; плотности установки анкеров; расстояния между анкерами в ряду; количества анкеров в ряду; количества анкеров на 1 пог. м выработки; толщины торкрет-бетона или набрызг-бетона; нагрузки на крепь; расстояния между рамами; толщины свода монолитной кре-

Таблица 4

Рекомендуемый выбор типа крепи на основе ее предельных смещений и коэффициента соотношения K_{cRm}

Recommended design of mine support on the basis of its yield limits and ratio K_{cRm}

Категория крепления выработки	Тип крепи**	Предельные смещения крепи, мм	Коэффициент соотношения K_{cRm}		
			0–0,15	0,15–0,20	0,20–0,35 и более
I	без крепи	0	–	–	–
II	набрызг-бетонная (торкрет-бетонная)	20	без крепи	набрызг-бетонная (торкрет-бетонная)	анкерная*
III	фибро-торкрет-бетонная	30	без крепи	фибро-торкрет-бетонная	анкерная*
IV	анкерная	30–40	набрызг-бетонная (торкрет-бетонная)	анкерная*	КК*
V	КК*	50	анкерная*	КК*	УКК* с металлической сеткой
VI	УКК*с металлической сеткой	150	КК*	УКК* с металлической сеткой	металлическая арочная податливая трехзвенная
VII	деревянная рамная	150	КК*	деревянная рамная	металлическая арочная податливая трехзвенная
VIII	металлическая рамная	способна выдерживать нагрузки от смещений массива до 200 и более	УКК*	металлическая рамная	металлическая арочная податливая трехзвенная или УКК* с гибкой высокопрочной металлической сеткой
IX	УКК* с гибкой высокопрочной металлической сеткой	200–300	УКК* с металлической сеткой	УКК* с гибкой высокопрочной металлической сеткой	металлическая арочная податливая трехзвенная
X	металлическая арочная податливая трехзвенная	300	УКК* с гибкой высокопрочной металлической сеткой	металлическая арочная податливая трехзвенная	металлическая арочная податливая пятизвенная
XI	металлическая арочная податливая пятизвенная	300–700	металлическая арочная податливая трехзвенная	металлическая арочная податливая пятизвенная	бетонная или железобетонная

XII	монолитная бетонная или железобетонная	способна выдерживать нагрузки от смещений массива до 1000 и более	монолитная бетонная или железобетонная	монолитная бетонная или железобетонная	монолитная бетонная или железобетонная
XIII	тюбинговая	способна выдерживать нагрузки от смещений массива до 2000 и более	тюбинговая	тюбинговая	тюбинговая
XIV	динамическая крепь	способна поглощать энергию микроудара, горного удара и газодинамического явления с выбросом породы глубиной до 1000 мм и более	динамическая крепь	динамическая крепь	динамическая крепь

* Анкерная — с цементным заполнением шпура АКц, сталеполимерная СПА, фрикционная ФА, полимерная ПА, самозабуривающаяся с полимерным заполнением шпура СЗПА;
КК — комбинированная крепь: анкерная и набрызг-бетонная (торкрет-бетонная) или фиброторкретбетонная; УКК — усиленная комбинированная крепь: 1) анкерная, набрызг-бетонная (торкрет-бетонная) или фиброторкретбетонная и металлическая сетка или армокаркас; 2) анкерная, набрызг-бетонная (торкрет-бетонная) или фиброторкретбетонная и гибкая высокопрочная металлическая сетка.
** Несущая способность крепи (элементов крепи), которая должна выдерживать смещение массива и сопротивляться действующим нагрузкам, согласно сертификату на продукцию, представленному производителем крепи, и сроку службы крепи должны быть следующими:
- набрызг-бетон (торкрет-бетон) (варианты толщины) — не менее ___ т/м^2, срок службы ___ лет;
- фиброторкретбетонная (варианты толщины и типа (толщины и длины) фибры) — не менее ___ т/м^2, срок службы ___ лет;
- анкер с цементным заполнением шпура АКц (варианты ∅ арматуры) — не менее ___ т, срок службы ___ лет;
- анкер сталеполимерный СПА (варианты ∅ арматуры) — не менее ___ т, срок службы ___ лет;
- анкер фрикционный ФА (варианты ∅ анкера и шпура) — не менее ___ т, срок службы ___ лет;
- анкер полимерный ПА (варианты ∅ анкера) — не менее ___ т, срок службы ___ лет;
- анкер самозабуривающийся с полимерным заполнением шпура СЗПА (варианты ∅ анкера) — не менее ___ т, срок службы ___ лет;
- металлическая сетка (варианты ∅ проволоки) — не менее ___ т/м^2, срок службы ___ лет;
- армокаркас (варианты ∅ арматуры) — не менее ___ т/м^2, срок службы ___ лет;
- гибкая высокопрочная металлическая сетка (варианты ∅ проволоки) — не менее ___ т/м^2, срок службы ___ лет;
- металлическая арочная податливая трехзвенная (варианты типоразмера) — не менее ___ тс/раму, срок службы ___ лет;
- металлическая арочная податливая трехзвенная — не менее ___ тс/раму, срок службы ___ лет;
- монолитный бетон или железобетон (варианты толщины) — не менее ___ т/м^2, срок службы ___лет.

Таблица 5

Выбор типа крепи с учетом коэффициента соотношения K_{cRm}
Stope support with regard to the ratio K_{cRm}

Коэффициент соотношения K_{cRm}	Выбор типа крепи
0–0,15	облегчение крепи
0,15–0,20	обычное крепление
0,20–0,35 и более	усиление крепи

пи и др. В табличной форме приводятся уточненные минимально допустимые параметры анкерной крепи, устанавливаемой в кровле выработок.

В разделе приводится описание комбинированной крепи (КК состоит из анкеров и торкрет-бетона (набрызг-бетона)); усиленной комбинированной крепи (УКК состоит из анкеров, торкрет-бетона (набрызг-бетона) и металлической сетки (армокаркасов)); опережающей крепи с металлической арочной крепью; анкерной крепи с армокаркасами в сочетании с металлической арочной крепью; арочной крепи с армокаркасами и торкрет-бетоном (набрызг-бетоном) в сочетании с бетонной (железобетонной) крепью и условий, при которых их необходимо устанавливать, например, комбинированную крепь рекомендуется применять для крепления горно-капитальных, горно-подготовительных и нарезных выработок на несопрягаемых участках по кровле и бокам во II категории устойчивости или усиленная комбинированная крепь должна применяться для крепления горно-капитальных, горно-подготовительных и нарезных выработок на несопрягаемых участках в III — V категориях устойчивости.

Восьмой раздел Инструкции посвящен креплению сопряжений выработок. В разделе констатируется: под сопряжением понимается пересечение выработок и примыкающий к ним массив, в пределах которого сказывается взаимное влияние выработок. В зоне сопряжения выработок смещения пород и нагрузки на крепь выше, чем в одиночных выработках, что предопределяет особенности выбора типа крепи для этих участков. Для визуализации необходимо представить рисунки типов сопряжений выработок, которые включают: остроугольное ответвление; развилку под углом; прямоугольное ответвление; г-прямоугольное пересечение; остроугольное пересечение; тупоугольное и прямоугольное примыкание. Параметры крепей сопряжений принимаются в зависимости от максимального пролета L_{max}, который представляется в табличной форме.

Высоту свода возможного обрушения пород на сопряжениях выработок можно рассчитывать при условии $L_{max} = B$ и определять для каждой категории устойчивости, например, по индексу R'_m. Для рудников ЗФ «ПАО “ГМК Норильский никель”», для сопряжений с пролетом более 7 м в качестве дополнительного крепления могут применяться канатные анкеры длиной от 3,5 до 17 м и более. Расстояние между анкерами в зависимости от индекса R_m принимается по табл. 3.

Длина канатных (тросовых) анкеров при креплении сопряжений рассчитывается сложением высоты свода возможного обрушения кровли сопряжения и длины замковой части анкера, закрепленной за сводом возможного обрушения кровли сопряжения.

В разделе также представлен порядок крепления кровли сопряжения временной крепью:

- анкерная крепь должна устанавливаться после производства первого взрыва с одновременным восстановлением нарушенной крепи выработки, из которой ведется сооружение сопряжения;
- по мере проходки сопряжения отставание анкерной крепи не должно превышать шага ее установки;
- отставание работ по набрызг-бетону сопряжения определяется паспортом крепления выработки, но оно не должно быть более 5,0 м.

В выработках III — V категорий устойчивости анкерную крепь целесообразно применять совместно с армокаркасами или металлической сеткой и набрызг-бетоном.

Нецелесообразно сооружать сопряжения выработок в породах с наличием тектонических нарушений, имеющих зону смятия или дробления мощностью 0,3 м и более с углом падения менее 600. При меньшей мощности зоны дробления или смятия вид крепи сопряжения следует выбирать в зависимости, например, от рассчитанного индекса устойчивости выработки R_m.

Необходимо избегать крепления сопряжения горных выработок, попадающих в зону влияния очистных работ, жесткими видами крепи (монолитный бетон, железобетон и т.п.) без оборудования их специальными узлами податливости.

Проходка сопряжений производится из ранее пройденной и закрепленной выработки постоянным видом крепи.

Особенностью проведения и крепления сопряжений в удароопасных условиях является наличие повышенной концентрации напряжений вокруг выработок за счет их взаимного влияния. Поэтому в удароопасных условиях необходимо соблюдать очередность проходки сопрягающихся выработок и особенности их крепления.

В выработках III—IV категорий устойчивости проходка сопрягающейся выработки производится после установки постоянной крепи в выработке, из которой она проходится.

В выработках V категории устойчивости строительство сопряжений производить не рекомендуется.

В случае непрогнозируемого подсечения зоны очень нарушенных пород в выработках III—V категорий устойчивости устанавливаются на месте (в забое) характеристики тектонической зоны (параметры трещиноватости, обводненности, особенности структурных породных блоков), ее фактическое положение, вносятся изменения и дополнения в геологическую характеристику паспорта крепления.

Девятый раздел Инструкции посвящен креплению горных выработок в особых условиях. Имеется в виду крепление выработок в зонах тектонических нарушений и в удароопасных условиях. В разделе представлен порядок крепления выработок, проводимых в особых условиях, с визуализацией процесса в виде рисунков:

- в сложных горно-геологических условиях, если после проведения взрывных работ в забое возникают крупные вывалы, рекомендуется опережающий способ временного крепления;
- в условиях динамического проявления горного давления допустимо применять прямоугольно-сводчатую и подковообразную формы сечения выработок, особенно при их креплении монолитным бетоном или сборными арочными крепями. При креплении подземных выработок следует применять виды крепи от легких (набрызг-бетон) до тяжелых (монолитная бетонная крепь), а в местах с вероятностью смещения кровли и боков за счет динамических форм проявлений горного давления — податливые типы крепи.

Десятый раздел Инструкции посвящен оценке вероятности разрушения горной выработки. В разделе представлена методика прогноза устойчивости подземной горной выработки, подкрепленная расчетными формулами, позволяющими рассчитать: время устойчивого стояния незакрепленной горной выработки с учетом ширины ее пролета ($T_{уст.}$) и коэффициент a, зависящий, например, от индекса устойчивости горной выработки R_m; частоту реализации риска (λ); вероятность разрушения горной выработки при наличии статистических данных (дискретных событий) (P); вероятность разрушения горной выработки при задержке между ее проходкой и креплением (P).

Количественная оценка условной вероятности разрушения горной выработки предназначена для ранжирования выработок по степени опасности согласно РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов», ГОСТ Р 51901.12-2007 (МЭК 60300-3-1: 2003) «Менеджмент риска. Методы анализа надежности» и [14—17]. В разделе в табличной форме представлены данные: о времени устойчивого стояния подземной горной выработки без крепления в зависимости от ширины ее пролета *B*, например, для индекса устойчивости в диапазоне R_m = 0–1; ранжирование выработок по степени опасности; повышающие коэффициенты для полученной вероятности риска с учетом типа и степени повреждений крепления.

Количественная оценка вероятности риска обеспечивает прогнозирование событий и позволяет перейти от абстрактной угрозы риска к управляемым параметрам обеспечения безопасности. Необходимо ежемесячно составлять карты опасных зон с указанием условной вероятности риска в плановых направлениях ведения горных работ и описанием мероприятий для управления рисками.

В десятом разделе для визуализации процесса представлен пример оценки условной вероятности разрушения горной выработки.

Выводы

В статье на примере опыта ЗФ ПАО «ГМК “Норильский никель”» представлен пошаговый порядок разработки типовой Инструкции по креплению горизонтальных, наклонных и вертикальных подземных горных выработок различного назначения (капитальные, подготовительные, нарезные и очистные) на основе количественной оценки их устойчивости по индексу R_m и нарушенности массива горных пород по индексу *Q*. Показаны недостатки существующих Инструкций по креплению подземных горных выработок, действующих на горнодобывающих предприятиях России и зарубежья.

Материалы статьи могут быть полезными техническому персоналу горнодобывающих предприятий, специалистам институтов и компаний горного профиля, включающим горных инженеров, геотехников, геомехаников, геологов, маркшейдеров и других профильных специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Марысюк В. П.*, *Дарбинян Т. П.*, *Сергунин М. П.*, *Шиленко С. Ю.* Реализация концепции совершенствования комплекса крепления горных выработок на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» // Горная промышленность. — 2019. — № 3(145). — С. 10—13. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-3-145-10-13.

2. *Еременко В. А.*, *Айнбиндер И. И.*, *Марысюк В. П.*, *Наговицин Ю. Н.* Разработка инструкции по выбору типа и параметров крепи выработок рудников Талнаха на основе количественной оценки состояния массива // Горный журнал. — 2018. — № 12. — С. 101—106.

3. *Sajjad Chehreghani, Hossein Azad Sola, Hamid Chakeri* Stability analysis and support system design of Angouran underground mine batching room // Mining of Mineral Deposits. 2022, vol. 16, no. 1, pp. 92—100. DOI: 10.33271/MINING16.01.092.

4. *Zeqiri K., Ibishi G., Shabani M., Kortnik J., Bilir M. E., Geniş M., Yavuz M., Hetemi M., Bacak G.* Preliminary support design for underground mine adit, Artana Mine, Kosovo // Mining Science. 2021, vol. 28, pp. 141—159. DOI: 10.37190/Msc212811.

5. *Еременко В. А.*, *Лушников В. Н.*, *Косырева М. А.* Метод рейтинговой оценки устойчивости подземных горных выработок R_m // Горный журнал. — 2025. — № 1. — С. 9—19.

6. *Третенков И. В.*, *Лукьянов В. Г.* Устойчивость горных выработок. — Томск: Издательский Дом Томского гос. ун-та, 2015. — 132 с.

7. *Литвинский Г. Г., Смекалин Е. С., Кладко В. И.* Методика оценки и критерии устойчивости горных выработок // Сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ». — 2020. — № 19. — С. 5—14.

8. *LaBranche N., Keles C., Sarver E., Johnstone K., Cliff D.* Characterization of particulates from australian underground coal mines // Minerals. 2021, vol. 11, article 447. DOI: 10.3390/min11050447.

9. *Morissette P., Hadjigeorgiou J.* The development of a ground support strategy for deep mines subjected to dynamic loading conditions / Proceedings of the Eight International Conference on Deep and High Stress Mining, Australian Centre for Geomechanics, Perth, 2017, pp. 651—665.

10. *Barton N., Lien R., Lunde J.* Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support // Rock Mechanics. 1974, vol. 6, no. 4, pp. 183—236.

11. *Handbook* using the Q-system rock mass classification and support design. NGI, Oslo, 2025, 58 p.

12. *Лушников В. Н., Еременко В. А., Сэнди М. П., Косырева М. А.* Выбор анкерной крепи для выработок, пройденных в шахтах, склонных к горным ударам // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2017. — № 3. — С. 86—95.

13. *Potvin Y.* The need for new technology to optimise the engineering design of ground support systems in underground mines / Proceedings of the First International Conference on Underground Mining Technology. 2017. DOI: 10.36487/ACG_REP/1710_0.2_POTVIN.

14. *Гмурман В. Е.* Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов . — 12-е изд. — М.: Изд-во Юрайт, 2025. — 479 с.

15. *Risk management* — Risk assessment techniques: ISO/IEC 31010: 2009. It is commissioned 2009-10-09. Geneva, IEC. 2009, 92 p.

16. *Brown E. T.* Risk assessment and management in underground rock engineering — an overview // Journal of Roch Mechanics and Geotechnical Engineering. 2015, vol. 4, no. 3, pp. 193—204.

17. *Барлоу Р., Прошан Ф.* Математическая теория надежности / Под ред. Б.В. Гнеденко. — М.: Сов. радио, 1969. ГИАБ

REFERENCES

1. Marysyuk V. P., Darbinyan T. P., Sergunin M. P., Shilenko S. Yu. Implementation of improvement concept of stope support design and installation in mines of NorNickel's Polar Division. *Russian Mining Industry Journal*. 2019, no. 3(145), pp. 10—13. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-3-145-10-13.

2. Eremenko V. A., Ainbinder I. I., Marysyuk V. P., Nagovitsyn Yu. N. Guidelines for selecting ground support system for the Talnakh operations based on the rock mass quality assessment. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no. 12, pp. 101—106. [In Russ].

3. Sajjad Chehreghani, Hossein Azad Sola, Hamid Chakeri Stability analysis and support system design of Angouran underground mine batching room. *Mining of Mineral Deposits*. 2022, vol. 16, no. 1, pp. 92—100. DOI: 10.33271/MINING16.01.092.

4. Zeqiri K., Ibishi G., Shabani M., Kortnik J., Bilir M. E., Geniş M., Yavuz M., Hetemi M., Bacak G. Preliminary support design for underground mine adit, Artana Mine, Kosovo. *Mining Science*. 2021, vol. 28, pp. 141—159. DOI: 10.37190/Msc212811.

5. Eremenko V. A., Lushnikov V. N., Kosyreva M. A. Stability rating method for mine openings. *Gornyi Zhurnal*. 2025, no. 1, pp. 9—19. [In Russ].

6. Tretenkov I. V., Luk'yanov V. G. *Ustoychivost' gornykh vyrabotok* [Stability of Mine Openings], Tomsk, 2015, 132 p.

7. Litvinsliy G. G., Smekalin E. S., Kladko V. I. Stability procedure and criteria for underground mine openings. *DonGTU Transactions*. 2020, no. 19, pp. 5—14. [In Russ].

8. LaBranche N., Keles C., Sarver E., Johnstone K., Cliff D. Characterization of particulates from australian underground coal mines. *Minerals*. 2021, vol. 11, article 447. DOI: 10.3390/min11050447.

9. Morissette P., Hadjigeorgiou J. The development of a ground support strategy for deep mines subjected to dynamic loading conditions. *Proceedings of the Eight International Conference on Deep and High Stress Mining*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, 2017, pp. 651—665.

10. Barton N., Lien R., Lunde J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*. 1974, vol. 6, no. 4, pp. 183—236.

11. *Handbook using the Q-system rock mass classification and support design*. NGI, Oslo, 2025, 58 p.

12. Louchnikov V. N., Eremenko V. A., Sandy P. M., Kosyreva M. A. Support design for mines exposed to rockburst hazard. *Journal of Mining Sciences*. 2017, no. 3, pp. 86—95. [In Russ].

13. Potvin Y. The need for new technology to optimise the engineering design of ground support systems in underground mines. *Proceedings of the First International Conference on Underground Mining Technology*. 2017. DOI: 10.36487/ACG_REP/1710_0.2_POTVIN.

14. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: uchebnik dlya vuzov*. 12-e izd. [Probability Theory and Mathematical Statistics: University Textbook, 12 edition], Moscow, Izd-vo Yurayt, 2025, 479 p.

15. R*isk management — Risk assessment techniques*: ISO/IEC 31010: 2009. It is commissioned 2009-10-09. Geneva, IEC. 2009, 92 p.

16. Brown E. T. Risk assessment and management in underground rock engineering — an overview. *Journal of Roch Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2015, vol. 4, no. 3, pp. 193—204.

17. Barlou R., Proshan F. *Matematicheskaya teoriya nadezhnosti* [Mathematical Theory of Reliability], Moscow, 1969.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Трофимов Андрей Викторович[1] — канд. техн. наук, директор департамента научно-технического развития, e-mail: TrofimovAV@nornik.ru,
Румянцев Александр Евгеньевич[1] — канд. техн. наук, зав. лаборатории геотехники, e-mail: Rumyantsevae@nornik.ru,
Сергунин Максим Петрович[1] — главный специалист лаборатории геотехники, e-mail: SerguninMP@nornik.ru,
Еременко Виталий Андреевич[2] — д-р техн. наук, профессор РАН, директор научно-исследовательского центра «Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии», профессор кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля Горного института НИТУ МИСИС, e-mail: prof.eremenko@gmail.com,
Косырева Марина Александровна[2] — канд. техн. наук, инженер научного проекта научно-исследовательского центра «Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии», доцент кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля Горного института НИТУ МИСИС, e-mail: marinkosyreva@gmail.com,
[1] ООО «Институт Гипроникель».
Для контактов: Еременко В.А., e-mail: prof.eremenko@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.V. Trofimov[1], Cand. Sci. (Eng.), Director of Science and Technology Development Department, e-mail: TrofimovAV@nornik.ru,
A.E. Rumyantsev[1], Cand. Sci. (Eng.), Head of Geotechnique Laboratory, e-mail: Rumyantsevae@nornik.ru,
M.P. Sergunin[1], Chief Specialist of Geotechnique Laboratory, e-mail: SerguninMP@nornik.ru,
V.A. Eremenko, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Russian Academy of Sciences, Director of Research Center for Applied Geomechanics and Convergent Technologies in Mining, Professor at Department of Physical Processes in Mining and Geocontrol, NUST MISIS' College of Mining, e-mail: prof.eremenko@gmail.com,
M.A. Kosyreva, Cand. Sci. (Eng.), Project Engineer at Research Center for Applied Geomechanics and Convergent Technologies in Mining, Associate Professor at Department of Physical Processes in Mining and Geocontrol, NUST MISIS' College of Mining, e-mail: marinkosyreva@gmail.com,
[1] Gipronickel Institute, Saint-Petersburg, Russia,
[2] NUST MISIS' College of Mining, 119049, Moscow, Russia.
Corresponding author: V.A. Eremenko, e-mail: prof.eremenko@gmail.com.

Получена редакцией 23.06.2025; получена после рецензии 10.09.2025; принята к печати 10.11.2025.
Received by the editors 23.06.2025; received after the review 10.09.2025; accepted for printing 10.11.2025.