



**НОРНИКЕЛЬ**

ИНСТИТУТ  
ГИПРОНИКЕЛЬ

## ОТЗЫВ

**Официального оппонента к.т.н., Трофимова Андрея Викторовича на диссертацию Вильнер Марии Александровны на тему «Геомеханический прогноз нагрузок на крепь сопряжений выработок в структурно-нарушенных массивах горных пород», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика (технические науки).**

### **1. Актуальность темы диссертации.**

Развитие горнодобывающей отрасли приводит к интенсификации добычи полезных ископаемых на участках месторождений со сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями, что выражается в необходимости поддерживать высокие темпы очистных и проходческих работ на глубоких горизонтах, в зонах со сложной тектоникой и неустойчивым массивом горных пород. В данных условиях решение задач и обоснование способов, позволяющих снизить негативные факторы проявления горного давления и нарушенности массивов и их влияние на устойчивость сопряжений выработок невозможно без применения наиболее современных методов к описанию геомеханических процессов.

Применяемые на рудниках АО «Апатит» системы разработки с подэтажным обрушением и торцевым выпуском руды предполагают повышенные концентрации напряжений на выработках штрековой ориентации и сопряжении ортов со штреками при подходе фронта горных работ на критическую дистанцию. Специфичное поле напряжений района с преобладанием субгоризонтальных тектонических компонент в тензоре напряжений приводит к весьма сложным геомеханическим процессам при попадании сопряжений выработок в зону опорного давления. В таких условиях классические методики расчета параметров крепления не позволяют с требуемой точностью определить безопасные конфигурации управления кровлей. В связи с этим рассмотренные в диссертации вопросы обоснования параметров крепления, обеспечивающие безопасную эксплуатацию горных выработок, являются весьма актуальными.

Тема диссертации и ее содержание соответствуют паспорту специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика, п. 4, 6, 9.

### **2. Научная новизна и результаты работы.**

Рассматриваемая диссертация нацелена на повышение достоверности прогноза нагрузок на крепь сопряжений горных выработок при их проектировании, строительстве и эксплуатации в структурно-нарушенных горных массивах для условий разработки апатит-нефелиновых месторождений.

ООО «Институт Гипроникель»

ОКПО 00201365  
ОГРН 5067847542967  
ИНН/КПП 7804349796/780401001

Гражданский пр., 11  
Санкт-Петербург,  
Россия, 195220

тел.: +7 812 335-31-24  
факс: +7 812 335-32-72  
sapr@nickel.spb.ru

ОТЗЫВ

ВХ. № 9- 285 от 10.06.22  
АУ УС

Разработаны методы комплексных решений, основанные на оценке изменения параметров напряженного состояния блочного массива при взаимодействии структурных блоков, состоянии приконтурного массива. В итоге были получены следующие обладающие новизной результаты:

Предложен новый подход к оценке устойчивости сопряжений горных выработок, основанный на модели деформирования и прочности нарушенного массива породного массива в виде дискретной среды, где процесс деформирования и обрушения пород прогнозируется в рамках единой расчетной численной модели.

- Выявлены закономерности распределения напряжений в окрестности сопряжений горных выработок и формирования нагрузок на крепь с учетом фактической геометрии сопряжения на основе построения численных моделей прогноза напряженно-деформированного состояния системы «крепь – массив».

- Получены новые закономерности, определяющие связь между напряженным состоянием массива горных пород, структурной нарушенностью и интенсивностью развития геомеханических процессов при строительстве сопряжений горных выработок.

### **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Научные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы обоснованы в достаточной степени.

Автор детально проанализировал характеристику объекта исследований. Особенности развития геомеханических процессов в структурно-нарушенных средах. Количественное и качественное описание нарушений и классификации трещиноватых горных массивов. Подробно рассмотрены виды применяемых сопряжений горных выработок, проанализированы геомеханические и горно-геологические особенности объекта исследования, физико-механические свойства для Юкспорского, Кукисвумчоррского месторождений, а также для месторождений Апатитовый Цирк и Плато Расвумчорр, полученные в разное время. Решение задач, поставленных диссертантом, основано на использовании натуральных наблюдений, численном моделировании методом конечных и дискретных элементов. При этом применялись современные апробированные методы и программные комплексы.

Первое защищаемое научное положение основывается на прогнозе напряженно-деформированного состояния приконтурного массива горных выработок при блочном строении массива на основании представления массива дискретной средой и задания нелинейной прочности по контакту блоков. Обосновано использование модели Кулона-Мора для моделирования поведения сплошного массива, ослабленного трещинами, или сплошных породных блоков в дискретном массиве. Для описания поведения на контактах блоков обосновано применение нелинейного критерия Бартона-Бандиса. Обоснованность данного научного положения не вызывает сомнений.

Второе защищаемое научное положение основывается на том, что форма и размер зон возможного обрушения пород на участках сопряжений горных выработок, расположенных в структурно-нарушенных массивах горных пород, определяется пространственной геометрией сопряжения, отношением

размера породного блока к фактическому пролету сопряжения и характером начального поля напряженного состояния. Установлены количественные зависимости влияния таких параметров, как угол пересечения сопрягающихся выработок, форма кровли сопряжения, напряженное состояние массива и параметры трещиноватости, на устойчивость пролета сопряжения, которая выражается в относительном размере зоны возможного обрушения. Обоснованность данного научного положения не вызывает сомнений.

Третье защищаемое научное положение основывается на расчете параметров крепей сопряжений горных выработок должен основываться на результатах прогноза развития геомеханических процессов в массиве горных пород и учитывать его структурную нарушенность, напряженное состояние, тип и размер сопряжения, выраженные через интегральные показатели. Обоснован метод оценки зоны потенциального вывалообразования на основе определения величины смещения блоков, образующих трещины разрыва по контактам плоскостей ослабления. На контуре выработки определялись участки максимальных смещений, происходящие по плоскостям ослабления и оценивались величины раскрытия трещин в глубине массива. При величине раскрытия трещин больше нуля как минимум с 3 сторон блока, данный блок относился к потенциальной зоне вывала (обрушения). Предложено эквивалентный пролет сопряжения заменить на фактический, максимальный, определяемый геометрически на плане, так как обрушение наиболее вероятно произойдет в сечении максимального пролета. Сопоставление примененной автором методики основанной на предположении, что в блочном массиве потеря устойчивости происходит в виде обрушения породных блоков и формирования нагрузки на крепь с учетом оценки размера нарушенной зоны для предотвращения выпадения блоков горной породы с фактическими данными обрушений на сопряжениях показала хорошую сходимость. Таким образом обоснованность третьего научного положения не вызывает возражений.

Таким образом, достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается использованием средств численного моделирования двумя методами, применением опыта действующих предприятий, осуществляющих добычу полезных ископаемых, сопоставлением результатов исследований процессов смещения контуров и изменении формы сечений и вывалов в натуральных условиях. Следует отметить хорошую логическую структуру диссертации: работа построена методически, верно, цели, задачи исследования, а также научные положения, результаты и выводы сформулированы четко.

#### **4. Практическая ценность работы**

Научная ценность работы заключается в разработке алгоритма обоснования параметров численных моделей методом конечных и дискретных элементов для прогноза геомеханических процессов в окрестности сопряжений горных выработок для условий апатит-нефелиновых месторождений, а так же методика прогноза нагрузок на крепь сопряжений в структурно-нарушенных массивах горных пород.

Практической ценностью является рекомендации по обеспечению устойчивости приконтурного массива сопряжений горных выработок, которые

являются базой для актуализации принятых на рудниках АО «Апатит» нормативных методик расчета параметров крепей.

## 5. Оценка содержания работы

Диссертация изложена на 134 страницах машинописного текста, содержит 21 таблицу, 75 иллюстраций содержит введение, четыре главы, заключение и список используемых источников из 147 библиографического наименования.

Анализ содержания диссертации показал, что материалы ее разделов логично связаны и посвящены последовательному решению задач исследования для достижения поставленной цели работы. Диссертация изложена понятным, технически грамотным языком. Полученные в диссертации результаты соответствуют поставленным целям и задачам. Содержание автореферата полностью соответствует диссертации. Структура диссертации и автореферата имеет логическую последовательность, ясность и полноту изложения.

Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 9 печатных работах, в том числе, в 3 статьях в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России, 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент.

## 6. Замечания по диссертационной работе.

1. На рисунке 1.8. указана схема с иллюстрацией масштабного эффекта при определении шероховатости трещин, однако в указанном масштабе это является волнистостью трещин и в геотехнике как правило эти величины четко разделяются при картировании массива и определении JRC.
2. Таблица 1.5 указано что GSI используется для построения паспортов прочности горных пород. Следовало бы уточнить в таблице, что GSI используется для получения паспортов прочности горного массива по критерию Хука Брауна. По тексту это указано, а таблице 1.5 не совсем верная формулировка.
3. Таблица 2.3 Приведены результаты определения рейтинговых показателей структурной нарушенности. Причем уже приведен Q с учетом SRF, а величина рейтинга  $Q_{\text{prime}}$  не приведена. Причина, по которой для сопряжения выработок значение Q меньше, чем для протяженной выработки не указана. Является ли это принципом методики Бартон, при котором снижается рейтинг для сопряжения или это результат концентрации напряжений и различных значений SRF?
4. Таблица 2.4 Результат испытания пород по контактам. Значение сцепления выглядит сильно заниженным (на несколько порядков). Возможно, размерность указана не верно.
5. Критерием отрыва принята величина раскрытия трещины 0,1 мм – при данной величине раскрытия сцепление пропадает и возможно дальнейшее выпадение блока. Данный критерий как-то увязан с амплитудой шероховатости трещин, т.к. очевидно, что эти величины взаимоувязаны?
6. В таблице 3.2 указаны толщина заполнителя трещин. Для 2 и 3 системы трещин указана величина до 20 мм, что характерно для зоны локальных тектонических нарушений, а не для системных трещин.

Приведенные замечания не снижают положительной оценки рассматриваемой диссертационной работы, и носят рекомендательный характер.

**7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней».**

Диссертация Вильнер М.А. на соискание ученой степени кандидата технических наук представляет собой законченное научное исследование, а полученные в конечном итоге результаты представляют собой решение важной научной проблемы.

Автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации. Отмеченные замечания не влияют на ценность полученных диссертантом результатов.

Диссертация «Геомеханический прогноз нагрузок на крепь сопряжений выработок в структурно-нарушенных массивах горных пород», представленная на соискание степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика, полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Вильнер Мария Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика (технические науки).

Официальный оппонент,  
Заведующий Лабораторией геотехники  
ООО «Институт Гипроникель»,  
кандидат технических наук

09.06.22

Трофимов Андрей Викторович

195220, г. Санкт-Петербург,  
Гражданский проспект, д. 11,  
телефон: 8(812)335-31-00 доб.40-20  
e-mail: TrofimovAV@nornik.ru

Директор Департамента  
по исследованию и разработкам  
д.т.н.,



Цымбулов Леонид Борисович