

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

доктора технических наук **Курилко Александра Сардоковича**

на диссертационную работу **Головатого Ивана Ивановича**

«Разработка способа управления замораживанием породного массива при строительстве стволов калийных рудников», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

### **Анализ содержания диссертации**

Представленная диссертация является комплексным исследованием, в котором объединены теоретические, экспериментальные и прикладные разработки, направленные на решение задачи управления искусственным замораживанием породного массива при строительстве шахтных стволов калийных рудников.

В первой главе дан подробный обзор отечественных и зарубежных исследований в области замораживания пород, проектирования ледопородных ограждений (ЛПО), а также существующих подходов к мониторингу и управлению процессами теплообмена. Автор справедливо отмечает, что, несмотря на накопленный опыт, значительная часть теоретических моделей имеет упрощенный характер и недостаточно подтверждена натурными экспериментами.

Вторая глава содержит описание физических свойств многослойного породного массива и методики проведения термометрических наблюдений с использованием оптоволоконных датчиков. Приведены распределенные замеры температурного поля, что позволило впервые для условий калийных рудников столь подробно зафиксировать пространственно-временную динамику процессов промораживания и оттаивания.

Третья глава посвящена разработке математической модели системы «замораживающие колонки – породный массив – крепь ствола». Модель параметризована на основе натурных наблюдений, что существенно повышает её достоверность. Особое внимание уделено учету фазовых переходов воды в лед и зависимости прочностных характеристик пород от температуры.

В четвертой главе предложен новый критерий количественной оценки несущей способности ЛПО, который в отличие от традиционного критерия «толщина по изотерме замерзания» учитывает пространственную неоднородность распределения температур и прочности в объеме массива. Приведены формулы, интегрально учитывающие геометрию и механические свойства замороженной зоны.

В пятой главе сформулирован способ управления замораживанием «по требованию», включающий дифференцированное рассмотрение интервала пород, мониторинг, дистанционное управление и реагирование на непредвиденные ситуации. На основании натурной апробации на Дарасинском руднике показано, что применение разработанных принципов позволило существенно сократить энергозатраты и ускорить процесс проходки.

Таким образом, содержание диссертации отражает последовательный путь от выявления научной проблемы до её практического решения с последующей апробацией в производственных условиях.

**Актуальность исследования** обусловлена необходимостью повышения безопасности и энергоэффективности строительства шахтных стволов калийных рудников. Проблема проникновения подземных вод в соляные пласты носит критический характер, так как растворение солей приводит к угрозе аварий и затопления горных выработок. Искусственное замораживание является надежным способом обеспечения водонепроницаемости, но связано с огромными затратами энергии.

Современные проекты шахтных стволов предусматривают глубины замораживания до 250 м и более, что требует значительной мощности замораживающих станций (500–800 кВт) и влечет расходы в десятки миллионов рублей ежегодно. В этих условиях разработка методов оптимизации процессов замораживания и перехода от активной к пассивной стадии приобретает стратегическое значение для предприятий калийной отрасли («Беларуськалий», «Уралкалий», «ЕвроХим» и др.).

Работа Головатого И.И. отвечает этим вызовам, предлагая научно обоснованный способ управления, позволяющий снизить избыточные энергозатраты и одновременно гарантировать надежность ЛПО.

**Научная новизна** работы подтверждается следующими важными для теории и практики шахтного строительства результатами:

1. Установлены закономерности пространственно-временной динамики температурного поля и прочностных характеристик ЛПО на всех стадиях его существования — от активного замораживания до многолетнего размораживания.
2. Обоснован новый критерий оценки несущей способности ЛПО, основанный на прямом расчете предельной нагрузки, воспринимаемой ограждением. Это позволяет устранить недостатки традиционного подхода, опирающегося лишь на толщину ЛПО.

3. Разработаны принципы замораживания «по требованию», включающие дифференцированный учет слоев пород, прогнозирование и оптимизацию времени начала проходки, что обеспечивает снижение затрат на замораживание при сохранении безопасности.
4. Реализована математическая модель с параметризацией на основе натурных данных, что обеспечивает высокую достоверность расчетов.
5. На основе результатов разработаны патентованные методики и устройства для мониторинга и управления процессом замораживания.

**Обоснованность выводов** обеспечена комплексным использованием теоретических расчетов, численного моделирования и натурных наблюдений. Сопоставление расчетных данных с результатами мониторинга на Дарасинском руднике показало их хорошую сходимость. Использование лабораторных испытаний образцов пород при разных температурах позволило уточнить модельные зависимости прочности. Предложенные критерии и методы прошли практическую проверку при строительстве стволов, где они обеспечили экономию электроэнергии свыше 3 млн кВт·ч. Таким образом, степень достоверности и обоснованности научных результатов не вызывает сомнений.

#### **Значимость для науки и практики, возможные пути использования**

Для науки работа представляет ценность как вклад в развитие геомеханики и горной теплофизики, поскольку расширяет теорию процессов замораживания многослойных породных массивов. Предложенный критерий несущей способности ЛПО может использоваться как универсальный в дальнейших исследованиях.

Практическая значимость проявляется в возможности прямого внедрения разработанных принципов при проектировании и строительстве стволов калийных рудников. Более того, методы могут быть адаптированы для строительства тоннелей и других подземных сооружений в сложных гидрогеологических условиях. Важным направлением будущего применения является развитие систем интеллектуального мониторинга и автоматизированного управления замораживанием.

#### **Опубликование результатов исследований автора диссертации**

Основные результаты, полученные в результате проведенных исследований, в достаточной степени представлены в публикациях автора: 12 публикаций, в том числе 8 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, получено два патента.

#### **Оформление диссертации**

Диссертация объемом 130 страниц содержит 46 рисунков и 8 таблиц, список литературы насчитывает 136 источников, включая 71 зарубежный. Изложение материала четкое и логически выстроенное, оформление соответствует установленным требованиям.

#### **Замечания и вопросы по работе**

1. Желательно было бы провести сравнительный анализ эффективности предложенного критерия оценки несущей способности ЛПО с существующими зарубежными подходами.
2. Экономическая часть могла бы быть расширена — в частности, приведены расчеты прямых финансовых выгод для предприятий от применения разработанного способа управления.
3. В работе упоминается возможность реагирования системы на аварийные ситуации, однако данный аспект представлен лишь в общем виде. Более детальная методика действий в случае отказов оборудования могла бы усилить прикладное значение исследования.
4. Отдельного внимания заслуживает вопрос масштабирования результатов на другие типы породных условий, отличные от условий калийных рудников.
5. Насколько корректно использование кусочно-линейной зависимости количества остаточной влаги от температуры (3.4) для рассмотренных в работе типов пород?

Эти замечания носят рекомендательный характер и не снижают высокой научной и практической ценности выполненной работы.

#### **Заключение о соответствии диссертационной работы критериям, установленным ВАК РФ**

Рецензируемая диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей решение научной задачи разработки способа управления замораживанием породного массива при строительстве стволов калийных рудников имеющей важное значение для повышения энергосбережения в горнодобывающей промышленности России за счет более рационального использования тепловой мощности замораживающих станций.

Работа включает все необходимые структурные элементы, объединенные внутренней логикой и четкой последовательностью изложения задач, методов и результатов исследований, формулировками научных положений, выводов и рекомендаций.



Приведенные замечания не изменяют общей положительной оценки работы, так как они не затрагивают научно-методической базы решения поставленных задач, сущности полученных научных результатов и уровня их практической значимости.

Таким образом, представленная диссертация на тему «Разработка способа управления замораживанием породного массива при строительстве стволов калийных рудников» полностью соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (ред. от 25.01.2024), а ее автор ГОЛОВАТЫЙ ИВАН ИВАНОВИЧ заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Я, Курилко А.С., автор отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Ведущий научный сотрудник  
лаборатории горной теплофизики

ИГДС СО РАН, д-р.техн. наук



Курилко Александр Сардокович

Научная специальность, по которой защищена диссертация: 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр "Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук" – обособленное подразделение Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук (ИГДС СО РАН).

Почтовый адрес: 677980, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, пр. Ленина, д. 43.,

Официальный сайт: <https://igds.ysn.ru/> e-mail: [kurilko\\_aleksandr@mail.ru](mailto:kurilko_aleksandr@mail.ru),

телефон: +7(985)916-22-75

Подпись д-ра техн. наук, Курилко А.С. удостоверяю:

Зам. директора по научной работе

ИГДС СО РАН, к.т.н.

« 15 » 09 2025г.



В.П.Зубков