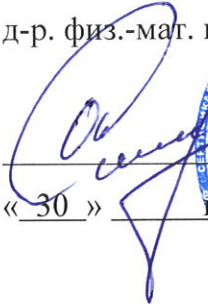


УТВЕРЖДАЮ:

Директор ПФИЦ УрО РАН

д-р. физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН


О.А. Пилехов
« 30 » июня 2025 г.


ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Пермский федеральный исследовательский центр

Уральского отделения Российской академии наук

Диссертация «Разработка способа управления замораживанием породного массива при строительстве стволов калийных рудников» выполнена в отделе аэрологии и теплофизики «Горного института Уральского отделения Российской академии наук» – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра («ГИ УрО РАН»).

Соискатель Головатый Иван Иванович с 2021 года был прикреплен к ПФИЦ УрО РАН для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук без освоения программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре. Диссертация подготавливалась по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Научный руководитель – Левин Лев Юрьевич, член-корр. РАН, д.т.н., зам. директора по научной работе, заведующий отделом аэрологии и теплофизики «Горного института Уральского отделения Российской академии наук» – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

I. Оценка выполненной соискателем работы

Диссертационная работа посвящена разработке способа управления искусственным замораживанием и размораживанием пород при строительстве стволов калийных рудников.

Несмотря на значительные достижения мировой науки в понимании физики процесса искусственного замораживания пород, современные теория и способы управления замораживанием пород при проходке стволов шахт всё еще не образуют единую систему, обоснованную успешным практическим применением. Это связано с тем, что многие разрабатываемые и описываемые в литературе подходы и способы управления замораживанием не прошли должную апробацию на практике. Зачастую исследователи ограничиваются лабораторными тестами, упрощенными математическими моделями, рассматривают идеализированные ситуации, далекие от практики реальной проходки шахтных стволов. Всё это приводит к использованию завышенных по соображениям безопасности критериев управления замораживанием пород и состоянием несущей способности ледопородного ограждения (ЛПО), не учитывающих динамику пространственной неоднородности распределения температур и прочностных свойств ЛПО на различных стадиях замораживания.

В отличие от этого, в настоящем исследовании рассмотрены прикладные вопросы управления замораживанием и размораживанием пород при строительстве стволов Дарасинского рудника и рудника Петриковского ГОК ОАО «Беларуськалий». Обширный массив практических данных позволил получить новые результаты, отражающие специфику замораживания в сложных гидрогеологических условиях.

Основная идея диссертационной работы заключается в разработке и обосновании нового критерия оценки несущей способности ЛПО, учитывающего неоднородное распределение теплофизических и прочностных свойств в объеме замороженных пород, а также в разработке новых принципов управления «по требованию», включающих в себя дифференцированное рассмотрение интервала замораживаемых пород и комплексную минимизацию затрат на систему замораживания и строительные работы.

В своей диссертационной работе соискатель провёл анализ экспериментальных измерений распределения температуры по глубине контрольно-термических скважин на стадиях формирования, поддержания и оттаивания ЛПО при строительстве стволов калийных рудников. На основе этих данных он разработал математическую модель системы «замораживающие колонки – породный массив – крепь ствола» и настроил её по результатам натурных наблюдений. Также была выполнена серия многопараметрических численных расчётов, позволивших выявить закономерности изменения температурного поля породного массива на всех стадиях замораживания.

В работе был предложен новый критерий оценки несущей способности ледопородного ограждения, учитывающий пространственную неоднородность его прочностных и теплофизических свойств. Это позволило разработать способ управления параметрами замораживающей станции и параметрами проходки на стадии пассивного замораживания и размораживания пород.

II. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

При непосредственном участии соискателя проведены: постановка задач, анализ и обработка результатов лабораторных и натурных исследований, математическое моделирование, обработка и анализ полученных результатов, разработка концепции замораживания «по требованию» и способа управления искусственным замораживанием и размораживанием пород при строительстве стволов калийных рудников.

III. Степень достоверности полученных результатов

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается соответствием основным естественнонаучным законам, сравнением результатов аналитических и численных решений с данными натурных экспериментов, сопоставимостью результатов работы с данными, полученными другими исследователями, а также обширным объемом натурных наблюдений, осуществленных в реальных условиях в ходе мониторинговых исследований искусственного замораживания пород при строительстве стволов на рудниках ОАО «Беларуськалий».

IV. Новизна и практическая значимость исследования

По результатам диссертационного исследования впервые установлены закономерности временных изменений и характера пространственной неоднородности параметров ледопородного ограждения на протяжении всего периода его существования.

Предложен и научно обоснован новый критерий оценки несущей способности ледопородного ограждения, учитывающий неоднородное распределение теплофизических и прочностных свойств в объеме замороженных пород и позволяющий оптимизировать режим работы замораживающей станции на всех стадиях искусственного замораживания пород.

Разработаны и теоретически обоснованы принципы управления замораживанием «по требованию», основанные на дифференцированном рассмотрении интервала замораживания пород, обеспечивающие комплексную минимизацию затрат на работу

системы замораживания и строительные работы и составляющие основу предложенного способа управления процессом замораживания.

V. Ценность научных работ соискателя

Предложенный способ определения и контроля несущей способности ледопородных ограждений строящихся стволов шахт и разработанная для этого в рамках данного исследования измерительная аппаратура запатентованы.

Разработанные принципы управления замораживанием «по требованию» реализованы на практике в процессе термометрического контроля искусственного замораживания пород на строящихся шахтных стволах Дарасинского рудника ОАО «Беларуськалий», что позволило существенно уменьшить затраты на строительство шахтных стволов, не снижая требований к обеспечению безопасности.

Результаты, полученные в рамках настоящего исследования, могут быть применены в практике замораживания пород и использования современных систем мониторинга и управления образованием ледопородных ограждений для самых различных подземных сооружений, строящихся в сложных гидрогеологических условиях.

VI. Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа соответствует следующему пункту паспорта специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»:

- п.10 «Гидро-, пыле-, аэро-, газо- и термодинамические процессы в массивах горных пород и грунтов, горных выработках и выработанном пространстве. Разработка методов и средств управления этими процессами».

VII. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 8 публикаций в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, утвержденных ВАК Минобрнауки РФ, получено два патента.

Наиболее значимые из работ, опубликованных по представленной теме:

1. **Головатый И.И.**, Левин Л.Ю., Паршаков О.С., Диулин Д.А. Оптимизация процессов формирования ледопородного ограждения при сооружении шахтных стволов // Горный журнал. – 2018. – № 8. – С. 48–53.

2. Levin L., **Golovaty I.**, Zaitsev A., Pugin A., Semin M. Thermal monitoring of frozen wall thawing after artificial ground freezing: Case study of Petrikov Potash Mine // *Tunnelling and Underground Space Technology*. – 2021. – Т. 107. – статья № 103685.
3. Semin M., **Golovaty I.**, Pugin A. Analysis of Temperature Anomalies during Thermal Monitoring of Frozen Wall Formation // *Fluids*. – 2021. – Т. 6. – Статья № 297.
4. Семин М.А., **Головатый И.И.**, Бородавкин Д. А. Анализ методов расчета теплоотдачи между хладоносителем в замораживающей колонке и окружающими породами // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2022. – Т. 333. – №. 3. – С. 154-163.
5. Levin L., Semin M., **Golovaty I.** Analysis of the structural integrity of a frozen wall during a mine shaft excavation using temperature monitoring data // *Frattura ed Integrità Strutturale*. – 2023. – Т. 17. – №. 63. – С. 1-12.
6. **Головатый И. И.**, Левин Л. Ю., Семин М. А., Пугин А. В. Реализация принципов замораживания «по требованию» при строительстве стволов Дарасинского рудника // *Горный журнал*. – 2023. – № 8. – С. 34-49.
7. Семин М. А., **Головатый И. И.**, Левин Л. Ю., Богомятков А. В. Разработка критерия оценки несущей способности ледопородного ограждения по данным температурного мониторинга // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2024. – № 11. – С. 111–125.
8. Semin M., **Golovaty I.**, Levin L., Pugin A. Enhancing efficiency in the control of artificial ground freezing for shaft construction: A case study of the Darasinsky potash mine // *Cleaner Engineering and Technology*. – 2024. – Т. 18. – Статья № 100710.

VIII. Апробация диссертационной работы

Научные положения и основные результаты исследований докладывались и обсуждались на ежегодных научных сессиях «ГИ УрО РАН» (Пермь, 2023-2024 гг.), на IV и V Международных научно-практических конференциях «Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магниевых солей» (Пермь, 2023 г., 2024 г.), на XXIII Зимней школе по механике сплошных сред (Пермь, 2023 г.), на Международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, МГГУ, 2023 г.), на 15-й конференции Аргус «Удобрения в странах Азии 2019» (Шанхай, 2019 г.), на ежегодной конференции Международной ассоциации производителей удобрений (Монреаль, 2019 г.; Лиссабон, 2021 г.).

IX. Заключение

Диссертационная работа Головатого Ивана Ивановича на тему «Разработка способа управления замораживанием породного массива при строительстве стволов калийных рудников» рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Заключение принято на заседании Объединённого учёного совета Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук. Присутствовало 36 из 52 человек. Результаты голосования «за» – 36 чел., «против» – нет, «воздержались» – нет, протокол заседания Объединённого учёного совета ПФИЦ УрО РАН № 6/25 от 27.06.2025 г.

Председатель Объединенного ученого совета,
академик РАН

В.П. Матвееenko

Ученый секретарь Объединенного ученого совета,
к.ф.-м.н.

А.Г. Вотинова