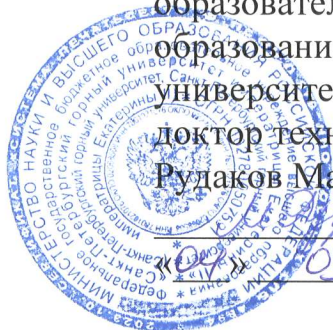


УТВЕРЖДАЮ

И. о. заместителя ректора – Первого проректора
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II»,
доктор технических наук, профессор
Рудаков Марат Леонидович



2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования

«Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»
на диссертационную работу Головатого Ивана Ивановича
**«РАЗРАБОТКА СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ЗАМОРАЖИВАНИЕМ
ПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
СТВОЛОВ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ»**,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения, изложена на 130 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков и 8 таблиц. Список использованных источников включает 136 наименований, в том числе 71 зарубежных.

1. Актуальность работы

Строительство горных выработок, в том числе шахтных стволов в сложных горно-геологических и гидрогеологических условиях, как правило, требует применения специальных методов проходки. Искусственное замораживание горных пород относится к одному из самых универсальных и эффективных методов, позволяющих минимизировать опасность поступления в выработки воды и водонасыщенных пород из окружающих выработки горных массивов. В России накоплен значительный опыт искусственного замораживания горных пород, в том числе на основе рассольных и азотных технологий. Используемые для выбора параметров искусственного замораживания расчётные методы, хотя и носят приближенный характер, но в большинстве практически интересных случаев, позволяют вычислять размеры ледопородного заграждения, обеспечивающего предотвращение гидравлической связи между водоносными

горизонтами и проходимыми выработками, и исключая возможность прорывов в них подземных вод.

Эти методы, разработанные во второй половине прошлого века, основаны, как правило, на аналитических решениях, справедливых для одномерных теплофизических и геомеханических моделей с постоянными теплофизическими и физико-механическими свойствами пород, и использующих установленные в результате натурных измерений эмпирические коэффициенты.

Автоматическое перенесение этих методов, рекомендованных существующими нормативными документами, для определения параметров искусственного замораживания при сооружении стволов строящихся рудников в широком диапазоне геолого-гидрогеологических условий, может привести к существенным ошибкам при выборе технологических схем размещения замораживающих колонок и холодильного оборудования, что может снизить надёжность метода замораживания или привести к неоправданному повышению энергетических и финансовых затрат.

Набирающие в последнее время популярность численные методы, основанные на решении двух – и трёхмерных задач Стефана и определяющие температурные поля вокруг замораживающих колонок, в каждом конкретном случае требуют дополнительного экспериментального подтверждения и, пока, не могут претендовать на универсальность. Вместе с тем, на основе этих методов представляется возможность учесть влияние на температурные поля, формирующиеся в горном массиве при его замораживании максимальное количество определяющих факторов: неоднородность теплофизических и физико-механических свойства пород и их изменение в пространстве и времени при замораживании, фильтрационный поток в водоносном горизонте, который пересекается шахтным стволом.

Использование численных методов позволяет выбрать оптимальные режимы замораживающей станции, обеспечиваемые за счёт организации её прерывистой работы, в частности осуществить, так называемое, «замораживание по требованию», которое с одной стороны обусловит необходимые параметры ЛПО, а с другой минимизируют энергетические затраты.

В этой связи, тема диссертационной работы, посвящённой разработке современных подходов для выбора оптимальных параметров системы искусственного замораживания горных пород и разработку способов управления этими параметрами, **несомненно**, актуальна.

Автором выносятся на защиту три научных положения, каждое из которых является итогом решения сформулированных в работе задач исследований. Реализованный в диссертации комплексный подход, включающий теоретические и экспериментальные исследования, позволил автору сформулировать основные научные результаты диссертационной работы, их научную новизну и практическую значимость.

2. Основные научные результаты

1. Выполнен анализ динамики измеренных температур пород по глубине контрольно-термических скважин при формировании в периоды поддержания и оттаивания ледопородного ограждения вокруг строящихся стволов калийных рудников.

2. Сформулирована и параметризована по данным экспериментальных измерений математическая модель системы «замораживающие колонки – породный массив – крепь ствола».

3. Разработан новый критерий оценки несущей способности ледопородного ограждения, учитывающий неоднородное распределение теплофизических и прочностных свойств в объёме замороженных пород.

4. Проведено многопараметрическое численное моделирование искусственного замораживания пород для условий строящегося калийного рудника, в рамках которого показана эффективность предложенного критерия оценки несущей способности ледопородного ограждения при мониторинге и управлении замораживанием пород.

4. Разработаны новые принципы и способ управления параметрами замораживающей станции и параметрами проходки на стадиях пассивного замораживания и размораживания пород, что позволило реализовать на практике управление замораживанием «по требованию».

3. Научная новизна диссертации

1. Установлены закономерности динамики пространственной неоднородности параметров ледопородного ограждения на протяжении всего периода его существования.

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

3. 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 горнопроходческие работы и составляющие основу предложенного способа управления процессом замораживания.

4. Научное значение диссертационной работы

Научное значение диссертационной работы состоит в разработке методологии управления процессом замораживания горных пород, окружающий строящийся ствол за счёт выбора прерывистых режимов работы замораживающей станции, включение (выключение) которых определяется на основе непрерывного мониторинга температурных полей.

5. Практическое значение и реализация результатов работы

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 без снижения требований к обеспечению безопасности.

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

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

6. 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 объёмом натурных наблюдений, осуществлённых в реальных условиях в ходе мониторинговых исследований искусственного замораживания пород при строительстве стволов на рудниках ОАО «Беларуськалий», непротиворечивостью полученных результатов с данными других авторов, апробированием результатов диссертационной работы в открытой печати.

7. Связь работы с крупными научными программами и темами

Диссертационная работа выполнена в соответствии с государственными планами научных исследований ПФИЦ УрО РАН, проводившихся в период 2020-2024 гг., по темам «Исследование и разработка систем контроля и управления термодинамическими и аэрологическими процессами в рудничной атмосфере и массивах горных пород при строительстве и эксплуатации горных предприятий в сложных горнотехнических условиях», «Комплексное моделирование геофизических, геомеханических и аэрологических процессов в горнотехнических системах», а также с тематикой хоздоговорных работ между ПФИЦ УрО РАН и ОАО «Беларуськалий».

Исследования по теме диссертации были поддержаны и частично финансировались Российским научным фондом по теме «Разработка теоретических основ и практических методов интеллектуального мониторинга сложных горнотехнических объектов», а также Министерством науки и высшего образования Пермского края по проекту Международных исследовательских групп «Исследование влияния миграции минерализованных подземных вод на

формирование и механические характеристики ледопородных ограждений строящихся горных выработок».

8. Оформление диссертации

Оформление диссертации и автореферата полностью соответствуют ГОСТ 7.0.11 – 2011 – «Диссертация и автореферат диссертации».

Диссертация и автореферат изложены понятным языком с использованием современной научно-технической терминологии. Стилль диссертации и автореферата соответствуют уровню научного изложения работ по горной тематике. Текст диссертации проиллюстрирован достаточным количеством схем и графиков.

Автореферат соответствует материалам, представленным в диссертации.

9. Замечания по работе

Рецензируемая диссертационная работа не лишена и ряда недостатков. К основным из них следует отнести:

1. В первой главе рецензируемой работы представлен анализ значительного объёма исследований, выполненных другими авторами как отечественными, так и зарубежными. На основании этого анализа соискатель приходит к заключению, что упрощённые аналитические методы расчёта параметров ледопородного ограждения дают возможность осуществить только оперативную оценку его состояния. На основе этих моделей представляется невозможным учесть такие важные физические процессы, как нестационарность диффузионного переноса теплоты, конечной скорости фазового перехода и наличие скрытой теплоты фазового перехода. Как следует из содержания работы математические модели, предлагаемые автором, ориентированы на рассмотрение вышеупомянутых процессов.

В этой связи, для доказательства преимуществ разработанных автором теоретических решений было бы полезно выполнить сопоставление результатов расчётов по разработанным им численным моделям, с упомянутыми упрощёнными инженерными зависимостями.

2. На стр.17 диссертации отмечается «...косвенные методы наблюдения не способны полностью оценить сплошность и толщину ЛПО, так как теплораспределение в породном массиве зависит от множества факторов...». На наш взгляд, использование термина «теплораспределение» не вполне удачно. Его лучше заменить термином «распределение температуры».

3. Не вполне понятно, чем объясняется, показанное на рисунке 2.9 сложное распределение естественной температуры горных пород с глубиной на участках строительства шахтных стволов Дарасинского рудника до начала искусственного замораживания. Вряд ли, это можно объяснить сезонным изменением температуры воздуха, так как глубина геотермозоны не превосходит 15 м (стр. 24).

4. Не показана зависимость теплофизических свойств промораживаемого горного массива от времени и расстояния относительно поверхности ствола.

Фигурирующие в диссертации данные представлены только для зоны охлаждения и зоны льда. На самом деле, изменение теплофизических свойств может иметь место и непосредственно в самих этих зонах и будет зависеть от температурного распределения (стр. 64).

5. В момент начала проходки шахтного ствола уравнения (3.1)–(3.9) должны быть дополнены граничным условием третьего рода (соотношение 3.16, стр. 67). Соискатель почему-то утверждает, что при этом в модели появляется дополнительная подвижная во времени граница между породным массивом и стволом. Не ясно, что автор имеет в виду под подвижной границей. Если границу зоны теплового влияния воздуха, которая перемещается с течением времени, то она не является физической подвижной границей, как, например, границы промерзания и оттаивания.

6. В диссертационной работе не представлены результаты анализа температурного поля при наличии фильтрационного потока в водоносном слое, который пересекает ствол. Выполнена лишь постановка этой задачи (уравнения 3.10–3.14). Видимо, поэтому, расчётные кривые, характеризующие температурные поля, имеют круговую симметрию. Представляется, что дополнительный учёт скорости и направления фильтрационного потока относительно ствола, несомненно, привёл бы к изменению геометрической формы ледопородного заграждения, что вызвало бы необходимость корректировки параметров системы замораживания.

7. Характер распределения температурного поля вокруг проходимого ствола будет зависеть и от распределения температуры воздуха по глубине ствола. К сожалению, в тексте диссертационной работы отсутствуют данные по температуре рудничного воздуха, что не позволяет оценить степень его влияния на формирование температурного поля в горном массиве.

Следует отметить, что указанные замечания носят рекомендательный характер, не снижают научно-практическую ценность диссертационного исследования И.И. Головатого и не влияют на общую положительную оценку работы.

10. Оценка диссертационной работы

Диссертационная работа Головатого Ивана Ивановича является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача, имеющая большое значение для обеспечения безопасности и повышения энергетической эффективности искусственного замораживания пород при сооружении стволов в сложных гидрогеологических условиях.

Результаты проведённых исследований достаточно полно представлены в 10 печатных научных работах соискателя, в том числе в 8 изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также в двух патентах на изобретение.

Диссертационная работа Головатого Ивана Ивановича соответствует паспорту специальности 2.8.6. – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика», имеет научную новизну и практическое значение. По совокупности полученных в диссертации научных результатов она

соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 25.01.2024).

Автор диссертации Головатый Иван Иванович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Отзыв обсуждён и одобрен на заседании кафедры безопасности производств Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

В заседании приняли участие 23 человека. Решение принято в результате открытого голосования:

Протокол № 2 от «04» сентября 2025 года.

Голосовали «за» – 23 чел.; «против» – нет; «воздержались» – нет.

Заведующий кафедрой,
доктор технических наук
(специальность 2.8.6),
профессор

Гендлер Семён Григорьевич

Секретарь

Гаспарьян Людмила Константиновна

Подписи председателя Гендлера Семёна Григорьевича, секретаря Гаспарьян Людмилы Константиновны подтверждают и заверяю:

Начальник Управления делопроизводства и документооборота -
Яковлева Елена Рауфовна



Почтовый адрес: 199106, город Санкт-Петербург, линия 21-я Васильевский остров, дом 2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» императрицы Екатерины II.
Телефон: 8 (812) 328-82-00
E-mail: rectorat@spmi.ru