

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.201.02
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 07.10.2025, протокол № 46

О присуждении Головатому Ивану Ивановичу, гражданину Республики Беларусь, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка способа управления замораживанием породного массива при строительстве стволов калийных рудников» по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» принята к защите 04.08.2025, протокол № 43, диссертационным советом 24.1.201.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН), 614013, г. Пермь, ул. Ленина, д. 13а, утвержденным приказом Минобрнауки России № 144/нк от 15 февраля 2022 г.

Соискатель Головатый Иван Иванович «15» июня 1976 года рождения, в 2000 г. окончил Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет) с присвоением квалификации горный инженер по специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых». В период с 2021 по 2024 год соискатель был прикреплен к ПФИЦ УрО РАН для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 - Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика. В настоящее время работает в ОАО «НЕДРА НЕЖИН» на должности первого заместителя директора.

Диссертация выполнена в отделе Аэрологии и теплофизики «Горного института Уральского отделения Российской академии наук» - филиале Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук («ГИ УрО РАН»).

Научный руководитель – Левин Лев Юрьевич, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, доцент, директор «ГИ УрО РАН» – филиала Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН (г. Пермь).

Официальные оппоненты:

1. **Качурин Николай Михайлович** доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Механики материалов и геотехнологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» (г. Тула);
2. **Курилко Александр Сардоквич** доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории горной теплофизики Института горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (г. Якутск).

Официальные оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» (г. Санкт-Петербург). Ведущая организация дала положительный отзыв, подписанный заведующим кафедрой Безопасности производств Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», д-ром техн. наук, профессором Гендлером Семеном Григорьевичем, и утверждённый И.о. заместителя ректора – Первого проректора Федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», д-ром техн. наук, профессором Рудаковым Маратом Леонидовичем.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью, широкой известностью публикаций и достижений в области горной теплофизики.

Соискатель имеет 26 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 12 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 8 работ.

Основные публикации:

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., Богомяков 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.

Публикации в журналах ВАК в полной мере отражают основные научные результаты работы соискателя. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в тексте диссертации отсутствуют.

По материалам диссертации получено два патента:

1. Патент № 038447 (ЕАПО). Скважинный оптоволоконный датчик непрерывного контроля температуры / Головатый И.И., Барбиков Д.В., Зайцев А.В., Левин Л.Ю., Паршаков О.С., Пугин А.В., Семин М.А., Дьяконов А.С.; заявитель и патентообладатель: ОАО «Беларуськалий», ПФИЦ УрО РАН. — № 2019000097; заявл. 06.09.2019; опубл. 30.08.2021, Бюллетень № 8. — 4 с.

2. Патент № 2809873. Способ определения и контроля несущей способности ледопородных ограждений строящихся стволов шахт для регулирования параметров работы замораживающих станций и система для осуществления способа / Семин М.А., Левин Л.Ю., Головатый И.И., Бублик С.А.; заявитель и патентообладатель: ПФИЦ УрО РАН. — № 2023111825; заявл. 28.04.2023; опубл. 19.12.2023, Бюллетень № 35. — 13 с.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: от оппонентов и ведущей организации.

1. Положительный отзыв официального оппонента Качурина Н.М. В отзыве отмечается актуальность темы диссертации, степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, новизна выполненных исследований и полученных результатов, достоверность

результатов исследований, научных положений выводов и рекомендаций, практическая значимость диссертационного исследования, соответствие содержания паспорта заявленной научной специальности. Оппонент приводит в своем отзыве следующие замечания по диссертации и автореферату:

- На рис. 2.7 представлены зависимости количества незамерзшей воды от температуры. Из этого рисунка видно, что для некоторых слоев пород большая часть влаги не замерзает даже при очень низких температурах ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже). В тексте диссертации никак не комментируется с чем это связано.
- Неясно, почему автор использует термин предельно длительная прочность, в то время как правильнее было бы сказать длительная прочность.
- На рис. 3.1 представлена подробная схема течения рассола в замораживающей колонке. При этом непонятно, осуществлялось ли в работе явное моделирование течения рассола в колонках.
- Не совсем ясно почему в таблице 4.1 вводятся такие высокие температуры полной кристаллизации влаги в породном массиве, ведь из рис. 2.7 следует, что влага не замерзает полностью даже при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Судя по легенде к рис. 5.2, и синяя сплошная линия, и синяя пунктирная линия соответствуют фактической холодильной мощности. Возможно, здесь допущена опечатка?

2. Положительный отзыв официального оппонента **Курилко А.С.** В отзыве отмечается актуальность, научная новизна диссертации, оценены степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, достоверность научных положений и выводов, указана значимость работы для науки и практики, соответствие содержания автореферата основным научным положениям.

Оппонент отмечает следующие замечания:

- Желательно было бы провести сравнительный анализ эффективности предложенного критерия оценки несущей способности ЛПО с существующими зарубежными подходами.
- Экономическая часть могла бы быть расширена — в частности, приведены расчеты прямых финансовых выгод для предприятий от применения разработанного способа управления.
- 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.
- Отдельного внимания заслуживает вопрос масштабирования результатов на другие типы породных условий, отличные от условий калийных рудников.
- Насколько корректно использование кусочно-линейной зависимости количества остаточной влаги от температуры (3.4) для рассмотренных в работе типов пород?

3. Положительный отзыв ведущей организации. В отзыве отмечается актуальность темы выполненной работы и ее связь с соответствующими отраслями науки и практической деятельности, научная новизна диссертации, степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, научные результаты и их ценность, теоретическая и практическая значимость результатов. В отзыве перечислены рекомендации по использованию результатов работы.

Ведущая организация отмечает следующие замечания и вопросы:

- В первой главе рецензируемой работы представлен анализ значительного объема исследований, выполненных другими авторами как отечественными, так и зарубежными. На основании этого анализа соискатель приходит к заключению, что упрощенные аналитические методы расчета параметров льдопородного 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 расчетов по разработанным им численным моделям, с упомянутыми инженерными зависимостями.

- 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».
- Не вполне понятно, чем объясняется, показанное на рисунке 2.9 сложное распределение естественной температуры горны 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 геолитермозоны не превосходит 15 м (стр.24).
- 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 для 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).
- 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.
- 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, расчетные кривые, характеризующие температурные поля, имеют круговую симметрию. Представляется, что дополнительный учет скорости и направления фильтрационного потока относительно ствола, несомненно, привел бы к изменению геометрической формы ледопородного заграждения, что вызвало бы необходимость корректировки параметров системы замораживания.
- 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.

На автореферат поступило 10 отзывов:

1. Положительный отзыв от Майорова А.Е., д-ра техн. наук, и.о. директора Института угля, заведующего лабораторией геомеханики и геометризации угольных месторождений Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», г. Кемерово. В отзыве имеются следующие замечания:

- В автореферате представлено две формулы для расчета толщины ЛПО по критерию прочности, однако не раскрыто, зачем нужна формула (4), предназначенная для случая неограниченной высоты заходки, когда далее после нее следует формула (5), описывающая технически более правильный вариант конечной высоты заходки?
- Как определялись прочностные и деформационные свойства пород, фигурирующие в виде параметров в формулах (4)-(6)? Проводились ли тесты на одноосное сжатие в лабораторных условиях?

2. Положительный отзыв от Рассказова И.Ю., д-ра техн. наук, академика РАН, директора Федерального государственного учреждения науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск. В отзыве имеется следующее замечание:

- Не полностью раскрыт вопрос об управлении режимом замораживания на основании дифференциального подхода. Не ясно каким образом планируется изменять режим замораживания в период проходки шахтного ствола?

3. Положительный отзыв от Калединой Н.О., д-ра техн. наук, профессора, профессора кафедры Безопасности и экологии горного производства Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва. В отзыве имеются следующие замечания:

- Из текста автореферата неясно в каком допустимом пределе изменялись теплофизические свойства пород при минимизации функционала (3) на стр. 12.
- На стр. 21 автореферата говорится: «Разработка этого комплекса мероприятий производилась, в частности, на основании прогнозных расчетов несущей способности ЛПО, выполненной на модификации описанной ранее математической модели, в которой был учтен конвективный перенос теплоты из-за фильтрации поровых вод.». Из текста автореферата не ясно как именно был учтен конвективный перенос теплоты в предложенной математической модели.
- В заключении недостаточно полно отражены полученные научные и практические результаты (не отражено установление зависимостей, нет их краткой характеристики, не указано наличие патентов и внедрения).

4. Положительный отзыв от Петровского А.Б., главного инженера ОАО «Беларуськалий», г. Солигорск. (без замечаний).

5. Положительный отзыв от Протосени А.Г., д-ра техн. наук, профессора, заведующего кафедрой «Строительства горных предприятий и подземных сооружений» и Сиренко Ю.Г., канд. техн. наук, доцента, доцента кафедры «Разработки месторождений подземным способом» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», г. Санкт-Петербург. В отзыве имеется следующее замечание:

- К сожалению, видимо ввиду малого объема автореферата, в нем весьма скупо излагаются некоторые важные вопросы. Например, реагирование системы замораживания на возможные непредвиденные события в рамках концепции замораживания «по требованию». Данный элемент крайне важен на практике и его должное изложение на первом плане придало бы больше весомости работе.

6. Положительный отзыв от Доброхотова О.В., руководителя управления по горным работам АО «Верхнекамская Калийная Компания», г. Березники. (без замечаний)

7. Положительный отзыв от Николаева А.В., д-ра техн. наук, профессора кафедры горной электромеханики Федерального государственного автономного бюджетного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь. В отзыве имеется следующее замечание:

- На стр. 12 автореферата сказано, что минимизация функции (3) осуществлялась путем подбора теплофизических свойств породного массива. Однако не указано, каким способом проводился подбор: вручную или с помощью численных методов?

8. Положительный отзыв от Лугина И.В., д-ра техн. наук, доцента, ведущего научного сотрудника лаборатории Рудничной аэродинамики и Алферовой Елены Леонидовны, канд. техн. наук, научного сотрудника лаборатории Рудничной аэродинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск. В отзыве имеются следующие замечания:

- Первые научное положение следовало бы сформулировать с упором на уточнении математической модели тепломассопереноса, а не на полученных с ее помощью

закономерностях. Соответственно, научная новизна, в первую очередь, относится к матмодели.

- В первом научном положении и далее по тексту автореферата шесть раз повторяется словосочетание «временная динамика», что является тавтологией.
 - На стр. 13, в контексте сравнения средних прочностей замороженных пород для моментов времени 4 и 20 месяцев, есть ссылка на рис.3, однако, на указанном рисунке приведены графики зависимостей средней температуры и толщины ледопородного ограждения от времени.
 - Не расшифрованы обозначения некоторых величин в таблице 1 на стр.13.
 - Пункт 1 Заключения, стр. 22: «Проведен анализ временной динамики экспериментально измеренных эпюр температуры...» способствует ложному представлению о существовании эпюр температур в окрестностях ствола, которые автор экспериментально измерял.
 - В автореферате не приведено формальное определение одного из ключевых терминов диссертационной работы «дифференцированное рассмотрение интервала замораживания пород».
9. **Положительный отзыв от Загоршменного И.М., д-ра техн. наук, доцента, ведущего научного сотрудника лаборатории 2.2 «Геотехнологических рисков при освоении газоносных угольных и рудных месторождений» Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем комплексного освоения недр» Российской академии наук, г. Москва. (без замечаний)**
10. **Положительный отзыв от Дарбиняна Т.П., канд. техн. наук, Директора Департамента горного производства Дирекции сопровождения производства (без замечаний)**

Все отзывы положительные в них отмечено, что диссертация является завершенным исследованием, представляет научный и практический интерес, прошла достаточную апробацию, содержит новые результаты, достоверность которых обоснована. Отмечаются также актуальность темы, высокий теоретический уровень работы, привлечение современных методических подходов и обширного объема натурных экспериментальных исследований. Имеющиеся в отзывах замечания связаны с оформлением автореферата диссертации, недостаточной подробностью описания некоторых деталей проведенных исследований в автореферате, а имеющиеся вопросы носят уточняющий характер. Многие замечания выражены в форме пожеланий и рекомендаций.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан способ управления формированием ледопородного ограждения и параметрами проходки стволов на стадиях пассивного замораживания и размораживания пород, применимый при строительстве выработок в сложных гидрогеологических условиях;

предложен критерий оценки несущей способности ледопородного ограждения, учитывающий неоднородное распределение теплофизических и прочностных свойств в объеме замороженных пород;

доказана возможность снижения энергозатрат на этапе замораживания и поддержания ледопородного ограждения за счет раннего начала строительства стволов и раннего отключения замораживающей станции при переходе на стадию размораживания;

введены принципы, составляющие основу подхода замораживания по требованию, базирующиеся на непрерывном мониторинге температурного поля, математическом моделировании и оценке несущей способности ледопородного ограждения, с учетом дифференцирования интервала замораживаемых пород.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:
применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использована модель теплопереноса в замораживаемом породном массиве, позволяющая в оперативном режиме интерпретировать измеряемое поле температур и оценивать предельную нагрузку на ледопородное ограждение;
раскрыты закономерности теплопереноса в замораживаемом породном массиве на этапах формирования, поддержания и ликвидации ледопородного ограждения;
изучено влияние неоднородности поля температур на прочностные характеристики ледопородного ограждения;
выполнена модификация метода статического расчета ледопородного ограждения на основе критериального показателя его несущей способности.

Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что:

разработана и внедрена система управления динамикой замораживания пород при строительстве стволов калийных рудников, включающая изменение режима работы замораживающего комплекса с учетом мониторинга параметров породного массива и оперативного реагирования на непредвиденные события на всех этапах процесса искусственного замораживания, что обеспечило безаварийную проходку стволов Дарасинского рудника ОАО «Беларуськалий» с общей экономией электроэнергии на формирование ледопородного ограждения более 3 миллионов кВт·ч;
создана система практических рекомендаций по определению параметров проходки при строительстве подземных сооружений в осложненных интервалах замораживания пород;
разработана инструкция по расчету параметров, контролю и управлению искусственным замораживанием горных пород при строительстве шахтных стволов на территории Республики Беларусь;
представлена модификация термометрического способа контроля состояния ледопородного ограждения в режимах пассивного замораживания и размораживания, основанная на непрерывных измерениях температуры в термометрических шпурах.

Достоверность результатов подтверждается тем, что:

для экспериментальных работ результаты получены на основе анализа большого объема натурных данных, собранных с использованием поверенных средств измерений, показана воспроизводимость результатов исследования для пород с разными свойствами;
теория построена на основе фундаментальных законов тепломассопереноса, согласующихся с известными и полученными экспериментальными данными;
идея базируется на анализе практики формирования ледопородных ограждений строящихся стволов, позволившем сформулировать научный принцип дифференцированного рассмотрения интервала замораживания с учетом неоднородного распределения теплофизических и прочностных свойств в породном массиве;
использован комплекс научных методов, включающих анализ экспериментальных данных, компьютерное моделирование процессов тепломассопереноса в породах и верификацию разработанных моделей.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач, проведении численных экспериментов и их интерпретации, выполнении исследований на строящихся стволах, анализе и обработке полученных данных, разработке научных решений и их практической реализации, апробации результатов исследований, подготовке публикаций по выполненной работе.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, непротиворечивой методологической платформы, основной идейной линии, концептуальности и взаимосвязи выводов.

На заседании 07 октября 2025 г. диссертационный совет принял решение:

за решение научной задачи по разработке способа управления замораживанием породного массива, повышающего эффективность строительства шахтных стволов, на основе непрерывного мониторинга температурного поля, математического моделирования и применения нового критерия оценки несущей способности ледопородного ограждения с учетом неоднородного распределения теплофизических и прочностных свойств в объеме замороженных пород, что имеет важное значение для развития горной теплофизики, присудить Головатому И.И. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 8 докторов наук по специальности 2.8.6, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – 0, не проголосовало – 0.

Председатель

диссертационного совета 24.1.201.02

д-р техн. наук, профессор, академик РАН

Барях Александр Абрамович

 / Барях А.А.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.201.02

канд. техн. наук

Лобанов Сергей Юрьевич

 / Лобанов С.Ю.

«09» октября 2025 г.

